



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

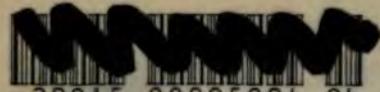
We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>

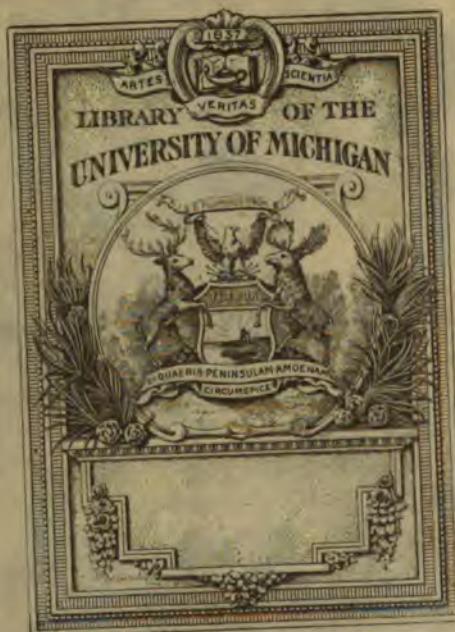
BUHR B



a39015 00005084 2b

F. Löhnis

Vorlesungen
über
landwirtschaftliche Bakteriologie





SCIENCE LIBRARY

QR
51
L823

Vorlesungen

über

landwirtschaftliche Bakteriologie

von

Dr. F. Löhnis,

Professor an der Universität Leipzig

Mit 10 Tafeln und 60 Abbildungen im Text

Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

W 25 Schöneberger Ufer 12a

1918

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten

Copyright, 1913, by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Vorwort.

Mit der Drucklegung dieser seit 1905 am Landwirtschaftlichen Institut der Universität Leipzig gehaltenen Vorlesungen findet ein vor reichlich 10 Jahren gefaßter Plan zur Ausarbeitung einer systematischen Folge von Lehr- und Handbüchern seinen vorläufigen Abschluß. In meiner „Einführung in die Bakteriologie“ (1906) versuchte ich zunächst einen möglichst einfach und allgemein verständlich gehaltenen Grundriß der Agrikultur-Bakteriologie zu geben¹⁾. Für den wissenschaftlich vorgebildeten Leser, der sich über das in Rede stehende Gebiet eingehender zu informieren wünscht, sind die „Vorlesungen“ bestimmt. Mein „Landwirtschaftlich-bakteriologisches Praktikum“ (1911) soll demjenigen, der experimentell zu arbeiten beabsichtigt, die erforderlichen Anleitungen gewähren²⁾. Das für eingehende, wissenschaftliche Untersuchungen benötigte Material wurde in meinem „Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie“ (1910) gesammelt und systematisch bearbeitet. Eine „Diagnostik der landwirtschaftlich wichtigen Mikroorganismen“ würde eventuell als Schlußstein des Ganzen in Angriff zu nehmen sein. Ohne sehr ausgedehnte experimentelle Arbeit ist aber auf diesem Gebiete nichts Brauchbares zu schaffen, und es ist einstweilen noch sehr zweifelhaft, ob sich die hierfür erforderliche Zeit und Unterstützung finden lassen wird.

Schon die planmäßige Durchführung der jetzt zum Abschlusse gebrachten Arbeiten war nicht gerade eine leichte Aufgabe. Das wird mir jeder gern glauben, der weiß, wie gering in der Regel die Mittel

¹⁾ Eine von Herrn Dr. A. KOLENEW besorgte autorisierte russische Übersetzung dieser Schrift erschien 1912.

²⁾ Die Herren WM. STEVENSON und J. H. SMITH, Dr. H. KUFFERATH, Prof. SHIGEHIRO SUZUKI (†), Dr. W. DOMBROWSKI und Priv.-Doz. Dr. L. BUDINOW haben die Freundlichkeit gehabt, das „Praktikum“ in englischer, französischer, japanischer, polnischer bzw. in russischer Sprache zu bearbeiten.

sind, die gegenwärtig in Deutschland demjenigen zur Verfügung stehen, der auf dem Gebiete der landwirtschaftlichen Bakteriologie wissenschaftlich arbeiten will. Der Ausblick auf das zu erreichende Ziel mußte über so manche unerfreuliche Erfahrung hinweghelfen. Und in der Anerkennung, die meine Arbeiten im Auslande fanden, durfte ich wenigstens einen Ausgleich erblicken für die passiven und aktiven Widerstände, auf die in Deutschland mein Bestreben stieß, der Bakteriologie innerhalb der Landwirtschafts-Wissenschaft den ihr gebührenden Platz zu sichern.

Für die medizinische Wissenschaft liegt die Zeit, in der die bakteriologische Denk- und Anschauungsweise sich ihren Platz erst erobern mußte, bereits ein Menschenalter zurück. In der Landwirtschaft sollte nun aber jedenfalls die jüngere Generation das nachholen, was die ältere versäumt hat. Die Bakteriologie ist nicht etwas, was der gebildete Landwirt zwar kennen sollte, was er aber auch ebenso gut nicht zu kennen braucht. Vielmehr handelt es sich hier um die notwendige Ergänzung zur landwirtschaftlichen Pflanzen- und Tier-Produktionslehre. Ich hoffe, daß es mir gelungen ist, diese wissenschaftlich wie praktisch gleich wichtige Tatsache in all ihren mannigfachen Beziehungen — namentlich auch hinsichtlich ihrer volkswirtschaftlichen Bedeutung — hinreichend klarzustellen.

Der Vorlesungsstil ist bei der Ausarbeitung nach Möglichkeit beibehalten worden. Die in Kleindruck gesetzten Abschnitte geben ungefähr den Inhalt von ergänzenden Unterredungen wieder, wie sie sich im Laboratorium im Anschluß an die Vorlesungen zu entwickeln pflegten. Bei den Literatur-Angaben habe ich mich auf das Notwendigste beschränkt. Namentlich im speziellen Teile konnte ich mich ja in den meisten Fällen auf mein „Handbuch“ stützen. Daß aber auch noch die neuesten Veröffentlichungen berücksichtigt und andere (nicht publizierte) Beobachtungen verwertet worden sind, brauche ich wohl kaum besonders zu betonen.

Dank dem Entgegenkommen der Verlagsbuchhandlung konnten zahlreiche Abbildungen beigegeben werden, die bis auf vereinzelte (jedesmal als solche kenntlich gemachte) Ausnahmen Originale sind. Einige wenige sind meinem „Praktikum“ entnommen. Die farbigen Tafeln, Tusche- und Strich-Zeichnungen wurden nach meinen Präparaten,

Skizzen und Angaben von dem wissenschaftlichen Zeichner Herrn EMIL LANGE in Leipzig mit großer Sorgfalt angefertigt. Mit gleichem Interesse hat sich Herr Dr. A. LOESCHE der Photographien angenommen, wofür ich ihm auch an dieser Stelle herzlich danke.

Meinen nun über die ganze Welt hin verstreuten Schülern wird dieses Buch, so hoffe ich, ein willkommenes Erinnerungs-Zeichen an die in Leipzig verbrachte Studien-Zeit sein. Im übrigen aber soll es dazu beitragen, in den in Betracht kommenden Kreisen die Überzeugung wachzurufen und zu festigen, daß die landwirtschaftliche Bakteriologie — speziell auch in Deutschland — eine ihrer Bedeutung entsprechende Förderung verdient. Es ist nicht lediglich damit getan, alles Mögliche (eventuell auch Unmögliches) zu erwarten und zu fordern, die nötigen Mittel für ein gründliches, wissenschaftliches Arbeiten auf diesem Gebiete aber nicht zu gewähren.

Leipzig, Sommer-Semester 1913.

Dr. F. LÖHNIS.

Inhalt.

A. Allgemeiner Teil.

1. Vorlesung, Seite 1—16.

Einleitung: Bedeutung und Aufgaben der landwirtschaftlichen Bakteriologie.
Historischer Überblick. Literatur.

I. Form, Bau, Entwicklung und Einteilung der Mikroorganismen.

2. Vorlesung, Seite 17—32.

Einzelzellen und Zellverbände. Form und Größe. Zellstruktur. Beweglichkeit.
3. Vorlesung, Seite 33—49.

Entwicklung der Mikroorganismen. Vermehrung und Koloniebildung. Dauerformen (Sporen). — Systematik.

II. Das Leben der Mikroorganismen.

4. Vorlesung, Seite 50—62.

Chemische Zusammensetzung. Lebensbedingungen der vegetativen Formen: Nahrung. Reaktion des Substrats und Reizstoffe.

5. Vorlesung, Seite 68—78.

Lebensbedingungen der vegetativen Formen (Schluß): Bedarf an Feuchtigkeit. Verhalten zum Sauerstoff (Atmung). Einfluß von Temperatur, Licht und sonstigen Einwirkungen. Symbiose und Antagonismus.

6. Vorlesung, Seite 79—91.

Existenzbedingungen der Dauerformen. — Verbreitung der Mikroorganismen. Standorts-Varietäten.

III. Züchtung und Bekämpfung der Mikroorganismen.

7. Vorlesung, Seite 92—104.

Zählung, Züchtung und Untersuchung der Mikroorganismen.

8. Vorlesung, Seite 105—124.

Bekämpfung der Mikroorganismen (Sterilisation, Pasteurisation und Asepsis): Physikalische, chemische und kombinierte Methoden. Zweckmäßige Anwendung der verschiedenen Verfahren.

IV. Die Leistungen der Mikroorganismen.

9. Vorlesung, Seite 125—137.

Die Leistungen der Mikroorganismen. — Produktion von Farbe, von Licht und von Wärme.

10. Vorlesung, Seite 138—154.

Umsetzungen organischer Substanzen. — Der Kreislauf des Stickstoffs: Eiweiß-Abbau, Ammoniak- und Salpeter-Bildung.

11. Vorlesung, Seite 155—170.

Der Kreislauf des Stickstoffs (Schluß): Nitrat-Reduktion. Amid-, Ammon- und Nitrat-Assimilation. Verluste und Gewinne an gebundenem Stickstoff.

12. Vorlesung, Seite 171—186.

Der Kreislauf von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff: Abbau der Kohlenhydrate, der Alkohole und der organischen Säuren. Bildung und Zersetzung von Humusstoffen. Kohlensäure-Assimilation. Entstehung und Verarbeitung von Kohlenoxyd, von Methan und von Wasserstoff.

13. Vorlesung, Seite 187—199.

Umsetzungen mineralischer Substanzen: Zersetzung und Assimilation von Phosphor-Verbindungen. Lösung von Karbonaten und Silikaten. Schwefel- und Eisen-Bakterien.

14. Vorlesung, Seite 200—212.

Pathogene Funktionen der Mikroorganismen. Virulenz und Infektion. Disposition und Immunität. — Impfung, Serum- und Chemotherapie.

B. Spezieller Teil.

I. Futtermittel- und Molkerei-Bakteriologie.

15. Vorlesung, Seite 218—227.

Futtermittel-Bakteriologie: Keimgehalt der Futtermittel. Mitwirkung von Mikroorganismen bei der Heu- und bei der Sauerfutter-Bereitung. Das Verderben von Futtermitteln. — Die Beteiligung von Bakterien am Verdauungsprozeß.

16. Vorlesung, Seite 228—248.

Milch-Bakteriologie: Infektion der Milch bei der Gewinnung. Änderungen des Keimgehaltes während der Aufbewahrung. Keimgehalt der verschiedenen Milchsorten. Biologische Milchprüfung.

17. Vorlesung, Seite 249—268.

Milch-Bakteriologie (Schluß): Normale und abnorme Änderungen der Milch. Maßnahmen zur Herabsetzung des Keimgehaltes der Milch. — Kefir, Kumiß, Jaourt usw.

18. Vorlesung, Seite 269—281.

Butter-Bakteriologie: Keimgehalt der Butter. Einfluß der Mikroorganismen auf die Qualität der Butter. Butterfehler.

19. Vorlesung, Seite 282—294.

Käse-Bakteriologie: Keimgehalt der Käse. Käseriefung.

20. Vorlesung, Seite 295—309.

Käse-Bakteriologie (Schluß): Käsefehler. Maßnahmen zur Regelung der Käse-Reifung. — Reinigung von Molkerei-Abwässern.

II. Dünger- und Boden-Bakteriologie.

21. Vorlesung, Seite 310—321.

Dünger-Bakteriologie: Keimgehalt des Stalldüngers. Verlauf der Dünger-Rotte. Kohlenstoff-Umsetzungen.

22. Vorlesung, Seite 322—332.

Dünger-Bakteriologie (Schluß): Stickstoff-Umsetzungen. Maßnahmen zur Regelung des Verlaufs der Dünger-Rotte.

23. Vorlesung, Seite 332—347.

Boden-Bakteriologie: Zahl, Art und Leistungen der Boden-Organismen. Methodik der bakteriologischen Bodenforschung. Beeinflussung der Mikroflora und -Fauna durch Bearbeitung, Düngung und Nutzung des Bodens.

24. Vorlesung, Seite 348—360.

Boden-Bakteriologie (Fortsetzung): Kohlenstoff-Umsatz. Humus und Gare. Abbau der stickstoffhaltigen Stoffe.

25. Vorlesung, Seite 361—378.

Boden-Bakteriologie (Schluß): Verluste und Gewinne an gebundenem Stickstoff. Bodenreinigung und Bodenimpfung. — Rückblick und Ausblick.

Namen- und Sachregister.
Verzeichnis der Abbildungen.

Druckfehler-Berichtigung.

S. 46, Z. 20 v. oben ist statt Wert zu lesen Wust.

S. 111, Z. 5 v. unten „ „ Uviolmilch „ .. Uviolmilch.

S. 202, Z. 1 „ „ „ „ toxisiv „ .. toxisiv.

S. 241, Z. 6 „ „ „ „ RUSSEL „ .. RUSSELL.

1. Vorlesung.

Einleitung: Bedeutung und Aufgaben der landwirtschaftlichen Bakteriologie. — Historischer Überblick. — Literatur.

Bedeutung und Aufgaben der landwirtschaftlichen Bakteriologie.

Je neuer eine Sache ist, um so mehr weichen in der Regel die Ansichten über deren Wert und Bedeutung voneinander ab. Überschätzungen und Unterschätzungen sind in solchen Fällen stets zu konstatieren. Je oberflächlicher und subjektiver bei der Urteilsbildung verfahren wurde, um so weniger zutreffend werden im allgemeinen die gezogenen Schlüsse sein. Auch die landwirtschaftliche Bakteriologie gehört zu diesen verhältnismäßig neuen Dingen, über deren Bedeutung noch manche Unklarheit herrscht. Überschätzungen und Unterschätzungen waren und sind auch in diesem Falle an der Tagesordnung. Die Folgen, die sich hieraus ergaben, haben teilweise sowohl für die Wissenschaft wie für die Praxis recht erhebliche Nachteile im Gefolge gehabt. Ich werde bei Gelegenheit etwas näher auf diese Tatsachen zu sprechen kommen.

Um ein zutreffendes Urteil über die Bedeutung und die Aufgaben der landwirtschaftlichen Bakteriologie zu gewinnen, müssen wir uns zunächst vergegenwärtigen, inwiefern Bakterien und andere niedere Organismen sich für den Landwirt nützlich oder schädlich erweisen können. Diese anderen Organismen, die neben den Bakterien i. e. S. Beachtung erfordern, sind vor allem gewisse Sproßpilze (Hefen), Schimmelpilze und Protozoen. Auch niedere Algen können manchmal von Wichtigkeit werden. Man bezeichnet alle diese kleinen und kleinsten Lebewesen gemeinsam als „Mikroorganismen“ oder „Mikroben“¹⁾. In fünf Richtungen können sie in Tätigkeit treten:

1. als Erreger menschlicher Krankheiten,
2. als Erreger tierischer Krankheiten,
3. als Erreger pflanzlicher Krankheiten,

¹⁾ Abgeleitet von $\mu\kappa\rho\delta\zeta$ = klein, $\delta\beta\iota\zeta$ = das Leben.

4. bei den Umsetzungen und Zersetzungen in den Nahrungs- und Futtermitteln, in der Milch und in den Molkeproduktien, in den Abwässern, im Stalldünger und im Boden,
5. bei den Gärungen in der Brennerei, in der Brauerei und bei der Weinbereitung, bei der Röste des Flachs und des Hanfes sowie bei der Fermentation des Tabaks.

Als Erreger menschlicher und tierischer Krankheiten sind die Bakterien zuerst allgemein bekannt geworden. Auch heute glauben ja noch viele Leute, sie müßten sich unter „Bakterien“ stets irgend etwas Gefährliches vorstellen. Das ist nun zwar ungefähr so, als ob jemand vor jeder grünen Pflanze Angst haben wollte, weil sie ja vielleicht eine Giftpflanze sein kann. Jedenfalls hat aber die Entdeckung der Erreger einer Reihe von menschlichen und tierischen Seuchen dahin gewirkt, daß sich das allgemeine Interesse zunächst und für längere Zeit auf die medizinische Bakteriologie konzentrierte. An den zu einer gesunden Entwicklung nötigen Mitteln fehlte es infolgedessen in diesem Falle nicht, und die medizinische Bakteriologie wurde in relativ kurzer Zeit zu einem für die Human- wie für die Veterinärmedizin gleich wichtigen Wissensgebiet. Auch die Erreger pflanzlicher Krankheiten sind schon seit Jahrzehnten eingehend bearbeitet worden. Was wir von ihnen wissen, hat in der Lehre von den Pflanzenkrankheiten seine Zusammenfassung gefunden.

Die Furcht vor allen möglichen Krankheiten hat zu allen Zeiten und in allen Zonen eine große, oft auch eine allzugroße Rolle gespielt. In nicht geringerem Grade scheint aber die Vorliebe für alkoholische Getränke ein allgemeines Erbteil der durstigen Menschheit zu sein. Eifrige Abstinenter gehen ihr zwar jetzt mitunter recht energisch zu Leibe. Aber jedenfalls hat doch auch hier das lebhafte Interesse für die Sache die Wissenschaft entschieden gefördert. Die an der alkoholischen Gärung beteiligten Organismen — in erster Linie die verschiedenen Arten und Rassen von Hefepilzen — sind bereits recht gründlich studiert worden. Die Bereitung von Spiritus, Bier und Wein, ferner die bei der Röste von Flachs und Hanf sowie bei der Fermentation des Tabaks in Anwendung gebrachten Verfahren werden noch oft unter der gemeinsamen Bezeichnung „technische Nebengewerbe des Landwirtschafts-Betriebes“ zusammengefaßt. Tatsächlich haben sich aber diese „Nebengewerbe“ großenteils schon zu vollkommen selbständigen Industrien entwickelt, oder sie sind doch im Begriffe dies zu tun. Die Sachlage ist hier ganz ähnlich wie bei den zahlreichen anderen Erwerbszweigen, — Spinnerei, Weberei, Gerberei usw. — die im Laufe der Zeiten aus den alten ländlichen Hauswirtschaften hervorge-

gangen sind. Die Erforschung der in jenen Prozessen tätigen Pilze und Bakterien ist die Aufgabe der „technischen Mykologie“ (Pilzkunde).

Manche Autoren betrachten auch die „landwirtschaftliche Bakteriologie“ als ein Teilgebiet der „technischen Mykologie“. Ich vermag mich dieser Auffassung nicht anzuschließen. Wie gesagt, lösen sich jene „technischen Nebengewerbe“ mehr und mehr von dem modernen Landwirtschafts-Betriebe los, falls dies nicht bereits geschehen ist. Sind sie noch mit ihm verbunden, so stehen sie doch, sofern die Größe des Unternehmens dies rechtfertigt, unter der Leitung von Fachleuten mit entsprechender Vorbildung. Demgemäß scheint es mir richtiger zu sein, die Bezeichnung „technische Mykologie“ lediglich für das zugehörige mykologische und bakteriologische Forschungsgebiet zu reservieren. Die „landwirtschaftliche Bakteriologie“ beschäftigt sich dagegen mit denjenigen Umsetzungen und Zersetzung, die in den Futtermitteln, in der Milch, in Butter und Käse, im lagernden Stalldünger sowie im Boden entweder dauernd oder zeitweise vorstatten gehen.

Die Forschungsgebiete der landwirtschaftlichen Bakteriologie und der technischen Mykologie sind schon heute so umfangreich, daß die vollständige und gründliche Beherrschung eines der beiden Gebiete die Arbeitskraft eines Einzelnen voll in Anspruch nimmt. Die medizinische Bakteriologie hat sich bereits in eine ganze Anzahl von Teilgebieten gegliedert; und auch von den landwirtschaftlichen Bakteriologen werden an manchen Instituten vorwiegend oder ausschließlich die der Milchwirtschaft oder die dem Ackerbau nahestehenden Fragen bearbeitet. Die Macht der Verhältnisse hat diese etwas weit gehende Spezialisierung meist notwendig gemacht. Es bleibt aber zu wünschen, daß mehr als bisher durch umfassende, nach rein wissenschaftlichen Gesichtspunkten durchgeführte Forschungen das ganze Gebiet eine einheitliche Bearbeitung erfahren möge.

Bisher hat man sich in der Regel darauf beschränken müssen, gewisse für die Praxis besonders wichtige Einzelfragen zunächst in Angriff zu nehmen. Namentlich die bakteriologischen Laboratorien an milchwirtschaftlichen Instituten haben in dieser Richtung schon manche recht nützliche Arbeit geleistet. Wie in den Gärungsgewerben gewinnen auch im Molkerei-Betriebe die in den Laboratorien gezüchteten Reinkulturen der an der Rahmreifung und an der Käsereifung beteiligten Organismen von Jahr zu Jahr an Wichtigkeit. Auf bodenbakteriologischem Gebiete hat man ebenfalls mehrfach danach gestrebt, vor allem möglichst rasch praktisch verwertbare Resultate zu erzielen. Ganz bestimmte Einzelfragen, wie die Stickstoff-Bindung im Boden, wurden für sich allein in den Vordergrund gestellt, und man glaubte, eine allseits befriedigende Lösung durch speziell für diesen Zweck flüssig ge-

machte Mittel erzwingen zu können. Wie kaum anders zu erwarten war, blieben die erhofften Erfolge fast vollständig aus. Wissenschaftliche Großtaten sind noch nie „auf Kommando“ geleistet worden. Die der Praxis zugute kommenden Resultate wissenschaftlicher Arbeit haben fast ausnahmslos umfangreiche, nach rein theoretischen Gesichtspunkten durchgeführte Untersuchungen zur Voraussetzung gehabt. Für eine mit Sicherheit Erfolg versprechende Ausgestaltung der landwirtschaftlichen Bakteriologie ist es deshalb ebenfalls unerlässlich, daß sie in ihrer ganzen Ausdehnung nach wissenschaftlichen Grundsätzen in Angriff genommen wird. Welcher Art diese Aufgaben sind, lehrt die folgende Betrachtung.

Die Aufgabe der Landwirtschaft beruht — ganz allgemein gesprochen — darin, den ständig in der Natur sich abspielenden Stoffkreislauf in möglichst hohem Maße für die Deckung der menschlichen Bedürfnisse auszunutzen. Wie uns die beigegebene schematische Darstellung (Abb. 1) vor Augen führt, finden die vom Boden geernteten pflanzlichen Produkte entweder als menschliche Nahrung direkt Verwendung (Kartoffeln, Obst usw.) oder sie dienen zunächst der Erzeugung tierischer bzw. gewerblicher Produkte (Fleisch und Milch auf der einen, Öl, Bier, Wein, Leinen-, Baumwollen-Gewebe usw. auf der andern Seite). Manche tierische Produkte (Wolle, Häute u. a.) erfordern vor ihrer endgültigen Verwendung eine industrielle Bearbeitung. In Gestalt von Fabrikations-Abfällen (als Ölkuchen, Biertreber usw.) kann ein Teil der von der Industrie aufgenommenen pflanzlichen Produkte auch noch der Tierhaltung nutzbar gemacht werden.

Damit jedoch diese Umsetzungen sich fortgesetzt erneuern können, ist eben ein wirklicher Stoff-Kreislauf nötig. Der aufbauenden Tätigkeit von Pflanze und Tier müssen sich jene Abbau-Prozesse hinzugesellen, die alle Reste des pflanzlichen und des tierischen Stoffwechsels (Ernterückstände, Stalldünger, Wirtschaftsabfälle, Kadaver usw.) wieder auf den Ausgangspunkt zurückführen. Alle organischen Substanzen müssen wieder in den mineralischen Zustand zurückkehren. Geschähe dies nicht, die Welt wäre schon längst ein großes Leichenfeld. Daß allerdings sehr große Mengen von organischer Substanz schon im Atmungsprozeß der höheren Organismen wieder zu Kohlensäure und Wasser zerlegt werden, ändert im Prinzip nichts an dieser bisher oft nicht genügend beachteten Tatsache.

Verlauf und Ursache der verschiedenen Abbauprozesse sind lange Zeit vollständig im Dunkel geblieben. Auch heute fehlt es noch vielfach an der wünschenswerten Klarheit. Die schwankenden Begriffe, die allgemein mit den Ausdrücken „Fäulnis“, „Verwesung“, „Gärung“ usw. verbunden werden, beweisen dies zur Genüge. „Von selbst“ gehen aber

alle diese Umsetzungen und Zersetzung ebenso wenig vor sich wie der Aufbau organischer Substanzen aus den chemischen Grundstoffen. Ausdrücke wie „der Dünger zersetzt sich“ oder „es bildet sich Salpeter im Boden“ erweisen sich bei näherer Überlegung als genau so unlogisch, als wenn jemand sagen würde: „Aus dem Futter bildet sich im Stalle Milch“ oder „auf den Feldern bilden sich Zucker und Stärke“. Wie in diesen Fällen zunächst Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben und Milchkühe vorhanden sein müssen, ehe die genannten Produkte entstehen können, so ist auch bei jenen Um- und Zersetzung die Anwesenheit

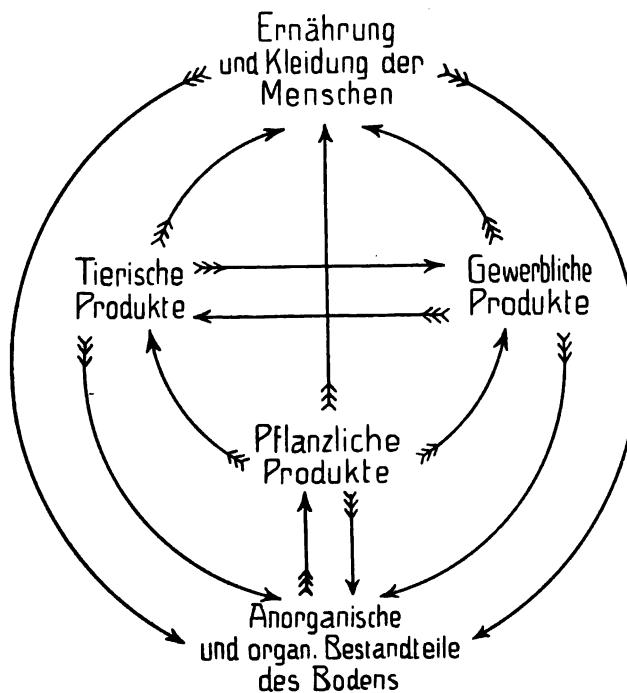


Abb. 1. Schematische Darstellung des Stoff-Kreislaufes.

der zur Auslösung dieser Prozesse befähigten Mikroorganismen eine gleich unerlässliche Vorbedingung. Allerdings gehen einige der hier in Frage kommenden Stoff-Umwandlungen infolge rein chemischer resp. physikalisch-chemischer Reaktionen vor sich; man denke z. B. an die lösende Wirkung von Säuren, an gewisse katalytische Prozesse, an denen Humus-Kolloide mitwirken können u. dgl. Aber das sind relativ seltene Ausnahmen. In der weit überwiegenden Mehrzahl der Fälle sind alle die einzelnen Phasen im Kreislauf des Stoffes beim Abbau wie beim Aufbau ursächlich verknüpft mit der Lebenstätigkeit von Organismen. Die landwirtschaftliche Bakteriologie stellt somit die not-

wendige Ergänzung zur landwirtschaftlichen Pflanzen- und Tier-Produktionslehre dar. Und die Arbeit der Mikroorganismen ist für den Landwirt ebenso unentbehrlich wie die Leistungen seiner Nutzpflanzen und seiner Haustiere. Der Mediziner sucht die Bakterien hauptsächlich deshalb kennen zu lernen, um sie erfolgreich bekämpfen oder — speziell bei Operationen — von vornherein fernhalten zu können. Der Landwirt sollte ihnen dagegen seine Aufmerksamkeit deshalb widmen, weil er mit ihnen Tag für Tag arbeiten muß. Mit guter Beobachtungsgabe ausgerüstete Praktiker waren übrigens schon seit jeher davon überzeugt, daß z. B. der Stallmist „Leben“ in den Boden bringt, daß zwischen der „tätigen“ Ackerkrume und einem „toten“ Untergrund wesentliche Unterschiede bestehen, daß die Einsäuerung der Futtermittel ebenso wie die Reifung der Käse dann am besten vonstatten geht, wenn sich die hierzu gebrauchten Gerätschaften und Einrichtungen (Gruben usw.) richtig „eingearbeitet“ haben. Überall handelt es sich eben in der Tat um die „Arbeit“, das „Leben“ und die „Tätigkeit“ nützlicher Mikroorganismen.

Unseren Kulturgewächsen und Haustieren müssen wir also als gleich notwendig die „Kultur-Mikroorganismen“ an die Seite stellen. Wie wir uns Saatgut, Zucht- und Nutzvieh entweder durch Zukauf oder durch Fortzüchtung im eigenen Betriebe beschaffen können, so können wir auch die Kultur-Mikroorganismen entweder als besonders ausgewählte, hochwertige Züchtungs-Produkte in Form von „Reinkulturen“ (zur Rahmreifung, Käsereifung, Leguminosen-Impfung usw.) käuflich erwerben, oder wir bewirken durch Schaffung günstiger Existenzbedingungen eine Auslese der für unsere Zwecke tauglichsten Formen aus der großen Schar der in der Wirtschaft bereits vorhandenen „wilden“ Bakterien und Pilze. Das eine ist jedenfalls stets im Auge zu behalten: Mit der Züchtung allein ist es in keinem Falle getan. Wertvolle Nutzpflanzen und hochgezüchtete Tiere versagen, wenn ihnen nicht die zweckentsprechende Ernährung und Pflege zuteil wird. Und so können auch die an sich zu größter Leistung befähigten Mikroorganismen dann nichts leisten, wenn sie nicht die zusagenden Existenzbedingungen vorfinden. Wollten wir etwa einen rohen, ungaren Acker mit Reinkulturen kräftig Stickstoff bindender Bakterien impfen in der Hoffnung, uns damit ohne alle Mühe große Ernten zu sichern, so würden wir ebenso töricht handeln, als wenn wir das Getreide auf der harten Straße aussäen oder von einer Kuh hohe Milcherträge erwarten wollten, ohne ihr die nötige Nahrung und Pflege zu gewähren. Die landwirtschaftliche Bakteriologie hat also keineswegs nur die Aufgabe zu lösen, die für den Landwirt nützlichen oder schädlichen Mikroorganismen sowie deren Züchtung oder Bekämpfung kennen zu lehren.

Vielmehr gilt es vor allem auch über die Lebensbedingungen der in Frage kommenden Mikroben genaue und umfassende Kenntnisse zu gewinnen. Es ist dies ein sehr ausgedehntes, aber vorläufig nur erst zu einem recht kleinen Teile in Angriff genommenes Arbeitsfeld.

Hieraus folgt, daß wir uns oft werden damit begnügen müssen, an Stelle der noch fehlenden Einzelbefunde die prinzipiellen Gesichtspunkte möglichst scharf zu erfassen. Von diesem Standpunkte aus wird es uns dann aber auch verhältnismäßig leicht möglich sein, über zukünftige Entdeckungen und Mitteilungen bakteriologischer Art — die oft nur allzu kritiklos in den Spalten aller möglichen Fach- und Tages-Zeitungen in Umlauf gesetzt werden, — uns ein im wesentlichen zutreffendes Urteil zu bilden. Wir werden uns so von Über- wie von Unterschätzung gleich weit entfernt zu halten wissen. Es wird demnach meine Aufgabe sein, zunächst und ehe ich auf die speziellen Fragen aus dem Gebiete der Futtermittel-, Molkerei-, Dünger- und Boden-Bakteriologie eingehe, zusammenfassend das Wichtigste über Eigenschaften, Leben und Leistungen der Mikroorganismen mitzuteilen, natürlich immer mit besonderer Berücksichtigung der landwirtschaftlich wichtigen Bakterien und Pilze. Ein kurzer historischer Überblick sowie einige Angaben über die einschlägige Literatur mögen dem vorausgeschickt sein.

Historischer Überblick. Wie wir sahen, dokumentiert sich in manchen dem landwirtschaftlichen Praktiker geläufigen Redewendungen (von der Tätigkeit“ der Ackerkrume, von dem „toten“ Untergrund usw.) ein ganz richtiges Empfinden für den wirklichen Sachverhalt. Naturgemäß hat es auch vor Jahrhunderten, ja vor Jahrtausenden nicht an allerhand Hypothesen und Beobachtungen gefehlt, die erst in neuerer und neuester Zeit durch die bakteriologische Forschung ihre Begründung und Erklärung fanden. Z. B. betont M. TERENTIUS VARRO in seinem vor rund 2000 Jahren geschriebenen Werke „de re rustica“, daß man bei der Anlage des Gehöftes darauf achten solle, ob sich etwa sumpfige Stellen in der Umgebung befänden, und zwar, abgesehen von anderen Gründen, auch deshalb, „weil in ihnen gewisse, sehr kleine, nicht sichtbare Tiere wachsen, die durch die Luft übertragen werden, durch den Mund und die Nase in den Körper eindringen und hier schwere Erkrankungen bewirken“.

Die betreffende Stelle lautet (VARRONIS *de re rustica* lib. I cap. XII) wie folgt¹⁾: „*Advertisum etiam, si qua erunt loca palustria, . . . quod in iis crescunt animalia quaedam minuta, quae non possunt oculi consequi, et per aera intus in corpus per os,*

¹⁾ Ich zitiere nach einer 1536 in Köln von einem „JOANNES GYMNICUS“ veranstalteten Gesamt-Ausgabe der Werke „*de re rustica*“ von CATO, VARRO, PALLADIUS und COLUMELLA.

ac nares perveniunt atque efficiunt difficiles morbos". Ob VARRO selbst auf diese Idee gekommen ist, oder ob er sie wo anders her übernahm, mag dahin gestellt bleiben. Jedenfalls war das Abschreiben (ohne Angabe der Quelle) schon damals sehr beliebt. In dem etwa 4 Jahrhunderte später von PALLADIUS verfaßten, gleichnamigen Werke liest man demgemäß (PALLADIUS de re rustica lib. I tit. VII): „Palus omni modo vitanda est, . . . propter pestilentia vel animalia inimica, quae generat“.

Der stickstoffbindenden Tätigkeit der in den Knöllchen der Leguminosen-Wurzeln lebenden Bakterien wurde ebenfalls schon zu jener Zeit insofern Rechnung getragen, als man der Ansicht war, der Anbau von Lupinen, Wicken, Bohnen u. dgl. wirke ebenso wie eine Düngung des Feldes. Allerdings stimmen die Meinungen der verschiedenen Schriftsteller in dieser Hinsicht nicht immer überein.

Besonders charakteristisch sind die folgenden von COLUMELLA (im 1. Jahrhdt. n. Chr.) niedergeschriebenen Sätze. De re rustica, lib. II cap. X: „Lupini prima ratio est, . . .

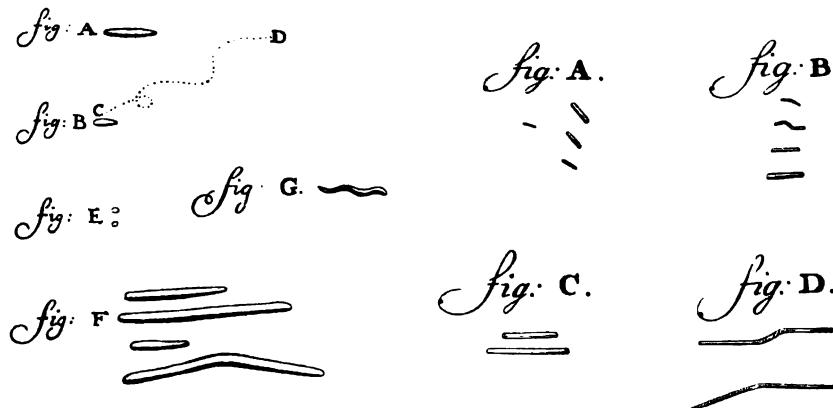


Abb. 2. Bakterien-Zeichnungen von A. VAN LEEUWENHOEK aus den Jahren 1683 (Fig. A—G links) und 1692 (Fig. A—D rechts); reproduziert nach „Arcana naturae detecta“ 1695, p. 42 und 335.

quod maxime ex iis, quae seruntur, iuvat agrum . . . et arvis optimum sterlus praebet“. L. c. cap. XI: „Pabulorum genera complura, . . . sed ex iis . . . eximia est herba medica, . . . quod agrum stercorat“. L. c. cap. XIV: „Sed ex . . . seminibus . . . SASERNA putat aliis stercorari et iuvari agros, aliis rursus peruri et emaciari. Stercorari lupino, faba, vicia, ervo, lente, cicercula, piso“. In bezug auf Lupine und Wicke stimmt COLUMELLA dem SASERNA bei, die andern Hülsenfrüchte sieht er dagegen nur als bodenschonend, nicht als bodenbereichernd an.

In zahlreichen Schriften des Mittelalters wurde die Lehre von dem „contagium animatum“, dem „belebten Ansteckungsstoff“ immer von neuem erörtert. Gewisse „animalcula“ wurden als Erreger von vielerlei Krankheiten vermutet. Der erste, der diese „Tierchen“ deutlich zu Gesicht bekam, scheint ANTON VAN LEEUWENHOEK in Delft gewesen zu sein. Mit selbstgefertigten Linsen suchte er die „Geheimnisse der Natur“ zu entschleiern. In zahlreichen Briefen berichtete er der „Royal

Society“ in London von seinen Entdeckungen¹⁾). Von besonderem Interesse sind einige aus den Jahren 1683 und 1692 stammende, in Abb. 2 wiedergegebene Zeichnungen LEEUWENHOEKS.

In beiden Fällen handelt es sich um Bakterien des Zahnbelages, die sich z. T. lebhaft bewegten²⁾), die punktierte Linie zwischen Fig. C und D soll dies andeuten. Ähnliche Organismen hat LEEUWENHOEK übrigens auch im Wasser gesehen.

In dem Briefe von 1683 setzt er sehr ausführlich auseinander, daß seine Zähne rein und völlig gesund gewesen seien. In dem zweiten Briefe (von 1692) berichtet er, daß er die „animalcula“ lange Zeit nicht habe wiederfinden können. Der heiße „Coffeé“, den er zu trinken pflegte, habe die „Tierchen“ getötet. Ihre Größe vergleicht er hier mit feinen Sandkörnern (Zinnsand), deren Durchmesser er mehr als 1000 mal so groß fand als den Durchmesser dieser „exiguorum animalculorum“. Im übrigen beschränkte sich der Delfter Gelehrte ausschließlich auf die Wiedergabe des von ihm Gesehenen. Irgendwelche Vermutungen oder Untersuchungen über die etwaige Bedeutung der Organismen finden wir noch nicht.

In dem XVII. Bande der von der „Royal Society“ herausgegebenen „Philosophical Transactions“ (vom Jahre 1693) wurde ein Auszug aus dem ersten Briefe (von 1683) in englischer Sprache veröffentlicht. Wenige Wochen später bestätigte EDM. KING in einer

Fig. 1.



Fig. 2.



Fig. 3.



Abb. 3. Zeichnungen von EDM. KING,
aus „Philosophical Transactions of the Royal Society“, London, Vol. XVII, 1693.

in demselben Bande der „Transactions“ publizierten Arbeit³⁾) nicht nur die Richtigkeit der Mitteilungen LEEUWENHOEKS, er fügte auch noch einige höchst interessante neue Beobachtungen hinzu, die später wieder vollständig in Vergessenheit geraten sind⁴⁾. Um zu beweisen, daß es sich tatsächlich um lebende Wesen handelte, setzte er den Tröpfchen der verschiedenen Flüssigkeiten (Harn, Kräuterabkochungen usw.) während der Beobachtung geringe Mengen Schwefelsäure, Tinte, verschiedene Salze, Zucker sowie frisches Blut mittels einer Nadel zu. Schwefelsäure und Blut brachte die „animalcula“ am raschesten zum Absterben. Die anderen Stoffe riefen entweder nur bei einem Teile

¹⁾ Die Briefe erschienen gesammelt unter dem Titel „Arcana Naturae Detecta“ 1695 in Delft. Das Werk enthält viele interessante, z. T. auch sehr amüsante Abbildungen. Wer sich vor dem etwas krausen Latein des „Vaters der Bakteriologie“ nicht scheut, wird auch manche lesenswerte Stelle darin finden.

²⁾ I. c. p. 48: „multa exigua admodum animalcula, jucundissimo modo se mouentia“.

³⁾ Philosophical Transactions of the Royal Society, vol. XVII, 1693, p. 861—865.

⁴⁾ In dem im übrigen sehr vollständigen Werke von LÖFFLER, Vorlesungen über die geschichtliche Entwicklung der Lehre von den Bakterien (Leipzig, 1887), das bei dieser Gelegenheit zur Lektüre empfohlen sei, ist KINGs Mitteilung nicht erwähnt. Ich habe sie auch sonst nirgends zitiert gefunden.

oder bei allen der im Gesichtsfeld befindlichen Keime, Änderungen der Gestalt (Schrumpfung) hervor. Durch Zusatz von Wasser konnten diese Änderungen, vorausgesetzt, daß nicht schon der Tod eingetreten war, wieder rückgängig gemacht werden. KING scheint also bereits jene erst in neuester Zeit wieder bemerkten Vorgänge wahrgenommen zu haben, die man jetzt als Plasmolyse und Plasmoptose zu bezeichnen pflegt (s. 2. Vorlesung). Seine in Abb. 3 wiedergegebenen Zeichnungen lassen allerdings im Vergleich zu denen LEEUWENHOEKS allerhand zu wünschen übrig.

Das 18. Jahrhundert brachte dann weiterhin zwar mancherlei mehr oder minder geistvolle Spekulationen über unser Thema, aber kaum irgendwelche positive Bereicherung des Wissens. Eine Ausnahme macht wohl nur ein den „Infusorien“ gewidmetes, mit schönen Abbildungen versehenes Werk des dänischen Forschers OTTO FRIEDRICH MÜLLER¹). Verschiedene der von ihm eingeführten Bezeichnungen (*Monas*, *Vibrio*, *Proteus*) sind bis auf den heutigen Tag in Gebrauch geblieben.

Zu Beginn des 19. Jahrhunderts waren die ersten praktischen Erfolge auf bakteriologischem Gebiete zu verzeichnen. Der Franzose APPERT lehrte die Grundsätze für eine rationelle Konservierung von Nahrungsmitteln animalischer oder vegetabilischer Herkunft²). Desgleichen wurden die mannigfachen Möglichkeiten einer zweckentsprechenden Desinfektion mehr und mehr bekannt.

Wie gut man in mancher Hinsicht schon vor 100 Jahren orientiert war, mögen die folgenden von ALBRECHT THAER herrührenden Bemerkungen über Ursache und Bekämpfung der blauen Milch beweisen³): Die Ursache des Blauwerdens der Milch „ist wahrscheinlich eine Art von Schimmel, welcher sich auf dem Rahm, sobald er an die Oberfläche kommt, absetzt. Durch starke Auslüftung nach vorhergegangener Räucherung mit Schwefel oder oxygenierter Salzsäure des Kellers und der Gefüße ist das Übel nach vielen mir bekannten Erfahrungen gehoben worden“.

Bereits im Jahre 1837 sprach sich dann THEODOR SCHWANN⁴) dahin aus, daß sowohl Gärung wie Fäulnis das Werk von Lebewesen („Infusorien“ und Pilzen) sei. DONNÉ forderte 1839⁵), daß die Veränderungen der Milch nicht nur chemisch, sondern auch mikroskopisch untersucht werden sollten; und in der Tat gelang es C. J. FUCHS, schon zu jener Zeit den bakteriellen Ursprung sowohl der Milchsäuerung wie einiger wichtiger „Milchfehler“ festzustellen⁶). Von besonders weitreichendem Einflusse wurden nun aber in den nächsten Jahrzehnten die mikrobiologischen Forschungen des berühmten französischen Chemikers

¹) *Animalcula infusoria fluviatilia et marina*, Hauniae 1786.

²) *L'art de conserver toutes les substances animales et végétales* 1810.

³) THAER, Grundsätze der rationellen Landwirtschaft, Bd. 4, sechstes Hauptstück (Die Viehzucht) § 54, zit. nach der „neuen unveränderten“ Auflage von 1833.

⁴) *Annalen d. Physik und Chemie* [2. Folge] herausg. v. J. C. POGGENDORFF, Bd. 41, 1837, S. 184.

⁵) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, T. 9, 1839, p. 367, 800.

⁶) *Magazin für die gesamte Tierheilkunde*, Bd. 7, 1841, S. 150, 174, 180—194.

LOUIS PASTEUR¹⁾). Ähnlich wie TH. SCHWANN, aber doch mit viel mehr Nachdruck und durchschlagenderem Erfolge vertrat PASTEUR die Ansicht von der ursächlichen Bedeutung der Mikroorganismen für die verschiedenartigen Umsetzungen und Zersetzung in der Außenwelt wie im Körper von Mensch und Tier.

Die Forschungen PASTEURS waren in erster Linie bestimmt, die, wie schon früher, gerade auch zu jener Zeit wieder einmal lebhaft diskutierte Frage zu entscheiden, ob heute noch „Urzeugung“ stattfinde oder nicht. Die Antwort fiel bekanntlich verneinend aus, und man hat denn auch seitdem diese ziemlich müßigen Spekulationen im allgemeinen ad acta gelegt. Trotzdem taucht aber auch heute noch gelegentlich die eine oder die andere Arbeit auf, in der dieses Thema abermals erörtert wird. Da sollen z. B. Milchsäurebakterien spontan aus dem Käsestoff der Milch entstehen²⁾ u. dgl. m. Bei exakter Nachprüfung haben sich alle derartigen Angaben ohne Ausnahme als hinfällig erwiesen. Unter den gegenwärtig auf unserem Planeten herrschenden Verhältnissen scheint keine „Urzeugung“ mehr stattzufinden.

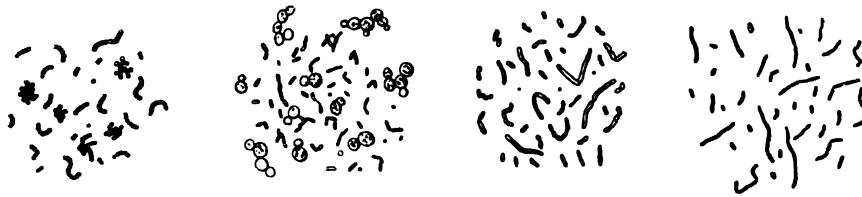


Abb. 4. Bakterien-Zeichnungen in der 1864 von L. PASTEUR in den „Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris“, T. LVIII, 1864, p. 142 veröffentlichten Arbeit.

a Harnstoff-Bakterien, b Milchsäure-Bakterien und Hefen, c und d verschiedene Buttersäure-Bakterien.

Gleich in den ersten Arbeiten, die PASTEUR in Angriff nahm, wurden verschiedene landwirtschaftlich wichtige Fragen der Lösung entgegengeführt. PASTEUR entdeckte u. a. die Milchsäure- und die Buttersäurebakterien sowie die Zersetzer des Harnstoffes (Abb. 4).

Aus den empfangenen Anregungen hat die französische Landwirtschaftswissenschaft reichen Nutzen gezogen. Eine ganze Reihe von Untersuchungen sind unter dem Einflusse PASTEURS in Frankreich, z. T. auch in England entstanden, die auch heute noch für die landwirtschaftliche Bakteriologie von nicht geringer Bedeutung sind. In Deutschland trafen die neuen namentlich in agrikulturchemischen Kreisen auf lebhaften Widerspruch. JUSTUS VON LIEBIG und seine Schule er-

¹⁾ Die erste Veröffentlichung, „Mémoire sur la fermentation appelée lactique“ erschien im 45. Bande der Comptes rendus de l'Académie Paris 1857, p. 913. In diesem und in den folgenden Bänden der „Comptes rendus“ erschienen auch die weiteren grundlegenden Mitteilungen PASTEURS.

²⁾ In der Deutschen medizinischen Wochenschrift 1901, S. 69 stellte A. P. FOKKER diese Behauptung auf.

griff gegen sie Partei; nicht zum Vorteil der deutschen Landwirtschafts-Wissenschaft.

Eines Mannes ist aber hier zu gedenken, der bereits im Jahre 1862 eine Schrift veröffentlichte, die als die erste auf dem Gebiete der Dünger- und Bodenbakteriologie zu gelten hat. Sie stammt — und das ist besonders interessant — aus der Feder eines praktischen Landwirtes. Der Titel lautet: „Die Fermentationstheorie gegenüber der Humus-, Mineral- und Stickstofftheorie von W. KETTE.“

Der Verfasser schreibt in diesem Buche u. a.: Alle Düngemittel wirken in zweifacher Richtung; einmal wird durch sie der Acker an Pflanzennahrung in aufnahmefähigem Zustande direkt bereichert und in diesem Punkte schließt sich die Fermentationstheorie der Stickstoff- und Mineralstoff-Theorie an; dann aber bewirken die Düngemittel außerdem zufolge eines Wechselverkehrs zwischen ihnen, dem Acker und der Atmosphäre, daß das, was der Acker schon vorher an Pflanzennährstoffen, aber in ungeeignetem Zustande enthielt, teilweise in den gedeihlichen Zustand übergeführt wird. Den Stalldünger betrachtet die Fermentationstheorie als nicht ersetzbar, weder durch Stickstoff- und Mineralsubstanzen, noch durch rein vegetabilische Düngung, denn auch diese sei nicht imstande, die „wahren Fermentationen, die ächte Vibrionen-Fäulnis“ hervorzurufen, die für das Zustandekommen der Gare des Bodens von größter Bedeutung sei.

KETTE betont ausdrücklich, daß die Forschungen PASTEURS über die Vorgänge bei der Zersetzung organischer Substanzen imstande seien, wenigstens in gewisser Beziehung manche Anschauungen der Praktiker über die Vorgänge im Acker der bis dahin noch ausstehenden wissenschaftlichen Begründung näher zu bringen. Die „Fermentationstheorie“ ist s. Z. augenscheinlich viel gelesen worden. Der ersten Auflage (von 1862) konnte bereits 3 Jahre später eine zweite Auflage folgen, die dann allerdings die letzte blieb. In der wissenschaftlichen Literatur habe ich aber nirgends eine Stelle gefunden, die auf diese doch sicherlich nicht uninteressante Schrift Bezug genommen hätte.

Ebenso wie die Dünger- und Bodenbakteriologie kann auch die Molkereibakteriologie in ihren ersten Anfängen bis in jene ein halbes Jahrhundert hinter uns liegenden Zeiten zurückverfolgt werden. Ich erwähnte schon, daß C. J. FUCHS die ersten zuverlässigen Einblicke in dieses Gebiet erschloß. Manche weitere wichtige Tatsache lehrte HAUBNER kennen. Im Jahre 1866 verbreitete sich dann VON HESSLING in einer im 35. Bande von „Virchows Archiv für pathologische Anatomie“ publizierten Arbeit ziemlich ausführlich über die in Milch- und Molkereiprodukten verlaufenden Umsetzungen.

Es wird darin u. a. folgender Satz aufgestellt: „Alle Käsegärung steht gerade wie die Milchgärung mit der Anwesenheit von Pilzen in gleichem Zusammenhange.“

1867 setzte L. H. DE MARTIN in seinen „Études sur la fabrication des fromages“ die Käsereifung direkt in Parallel zu der (durch PASTEUR erforschten) Alkoholgärung, Milchsäure- und Buttersäure-Bildung.

Die spezielle Beschaffenheit der verschiedenen Käsesorten sei zum Teil auf gewisse niedere Organismen zurückzuführen, „die auf oder im Käse wuchernd, dessen Reifung bedingen“. Je nach der Behandlung der Käse kämen entweder verschiedene Arten dieser Organismen oder dieselben Arten in verschiedenen Vegetationsformen zur Wirkung.

Da die deutsche milchwirtschaftliche Literatur jener Zeit weit weniger im LIEBIG'schen Fahrwasser segelte als dies bei den agrikulturchemischen Publikationen der Fall war, so ist es leicht begreiflich, daß die neue Lehre hier weit willigere Aufnahme fand.

Z. B. heißt es in der im Jahre 1868 erschienenen 6. Auflage von OTTOS „Lehrbuch der rationellen Praxis der landwirtschaftlichen Gewebe“ (Bd. 2, S. 599): Die Vorgänge bei der Käsegärung seien früher für spontan gehalten worden, „jetzt schreibt man derartige Veränderungen auf Rechnung von niederen Organismen“. In der 8. Auflage von R. WAGNERS „Handbuch der chemischen Technologie“ von 1871 wird (S. 645) gesagt, daß ohne die im frischen Käse in großer Menge nachweisbare Hefe kein Käse entstehen könne; durch Zusatz geeigneter Hefe habe man sogar die Dauer der Käsebereitung und seine Qualität bis zu einem gewissen Grade in der Gewalt.

Die ersten gründlichen, vom botanischen Standpunkte aus unternommenen bakteriologischen Studien wurden von FERDINAND COHN im Jahre 1875 veröffentlicht¹⁾). Auch die Käsereifung wird darin u. a. als Organismen-Wirkung gekennzeichnet, und namentlich — das ist das Neue an diesen Ausführungen COHNS — wird die große Bedeutung der im Labe vorhandenen Bakterien in helleres Licht gerückt. In Italien brachten ungefähr zur selben Zeit die Studien von MANETTI und MUSSO²⁾, in Frankreich diejenigen von DUCLAUX³⁾ weitere wichtige Fortschritte auf dem Gebiete der Käserei-Bakteriologie.

Aber auch in verschiedenen anderen Richtungen ist die Bakteriologie gerade in den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts bedeutend gefördert worden. In Frankreich unternahmen SCHLÖSING und MÜNTZ die ersten gründlichen Untersuchungen über die Salpeterbildung im Boden⁴⁾). Daß auch dieser Prozeß durch Bakterien ausgelöst wird, steht seitdem fest. In England bemühte man sich in verschiedener Weise um die keimfreie Gewinnung der Milch. U. a. wandte auch der berühmte Chirurg JOHN LISTER diesem Problem seine Aufmerksamkeit zu⁵⁾). Doch handelte es sich nicht etwa nur um wissenschaftliche Versuche in kleinem Maßstabe. Schon im Jahre 1884 hat ein Engländer, namens OTTO ERNEST POHL, auf dem Hofe Sierhagen bei Neustadt (Kreis Olden-

¹⁾ Beiträge zur Biologie der Pflanzen, Bd. 1, 1875, Heft II, S. 127 und Heft III, S. 141.

²⁾ Landw. Versuchs-Stationen, Bd. 21, 1878, S. 224.

³⁾ Annales agronomiques 1879, Ann. de l'Institut national agronomique, Nr. 5, 1879/80, p. 137.

⁴⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris T. 77, 1873, T. 84 und 85, 1877, T. 86, 1878 und T. 89, 1879.

⁵⁾ Quarterly Journal of Microscopical Science, New Series, Vol. 18, 1878, p. 189.

burg, Reg.-Bez. Schleswig) die möglichst aseptische Gewinnung der Milch unter Heranziehung eines großen Viehbestandes praktisch durchgeführt. Schon damals hielt sich solche „hygienisch einwandfreie“ Milch sechs Wochen und länger unverändert frisch. — In den siebziger Jahren wurde aber nun auch definitiv der Grund gelegt zu der späterhin gerade in Deutschland so glänzend emporwachsenden medizinischen Bakteriologie¹⁾. ROBERT KOCH veröffentlichte 1876 seine klassischen Untersuchungen über die Ätiologie des Milzbrandes.

1881 erschienen die ersten „Mitteilungen“ aus dem KOCHS Leitung unterstellten Kaiserlichen Gesundheitsamt in Berlin. Wie außerordentlich fruchtbar weiterhin von dieser Stelle aus gewirkt und welche großen Erfolge im Kampfe gegen die verheerendsten Seuchen errungen wurden, ist ~~fallgemein~~ bekannt. Für uns ist von besonderem Interesse, daß in der ersten Mitteilung aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamte R. KOCH auch schon die gesamte Mikroflora des Bodens in das Bereich seiner Untersuchungen zog. Wenige Jahre später (1884) veröffentlichte FERDINAND HUEPPE ebenfalls in diesen „Mitteilungen“ seine wichtigen „Untersuchungen über die Zersetzung der Milch durch Mikroorganismen“.

Mit viel Ausdauer, aber ziemlich wenig Erfolg bemühte sich seit Anfang der achtziger Jahre EWALD WOLLNY, die Aufmerksamkeit der deutschen Agrikulturchemie und Landwirtschafts-Wissenschaft auf die Tätigkeit der Mikroorganismen im Boden zu lenken²⁾. Umso größeren Eindruck machten dagegen die Veröffentlichungen von HELLRIEGEL und WILFARTH, in denen auf Grund von ungemein exakt durchgeführten Untersuchungen nachgewiesen wurde, daß sich die Leguminosen tatsächlich und zwar mit Hilfe der in ihren Wurzelknöllchen lebenden Bakterien den elementaren Stickstoff der Luft zunutze machen können³⁾. Es tut diesen unter sorgfältiger Beachtung aller bakteriologischen Gesichtspunkte durchgeführten Untersuchungen keinen Abbruch, wenn wir darauf hinweisen, daß es sich entgegen einer ziemlich allgemein vertretenen Meinung auch in diesem Falle nicht um etwas absolut Neues, sondern um — allerdings glänzende — Bestätigungen der von früheren Forschern bereits erlangten Ergebnisse handelt. In der 11. Vorlesung wird näher darzulegen sein, daß schon in den Jahren 1858—1864

¹⁾ HESSLING hatte in seiner soeben erwähnten Arbeit ebenfalls schon für die Medizin eine „germinative Ätiologie“ gefordert.

²⁾ Vgl. hierzu die zahlreichen in den von WOLLNY herausgegebenen „Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik“ veröffentlichten Arbeiten sowie das zusammenfassende Werk: „Die Zersetzung der organischen Stoffe“.

³⁾ Landw. Versuchs-Stationen Bd. 33, 1886, S. 464, Bd. 34, 1887, S. 460 und „Untersuchungen über die Stickstoffnahrung der Gramineen und Leguminosen“, Beilageheft z. Zeitschr. d. Vereins f. Rübenzuckerindustrie, Nov. 1888.

durch LACHMANN, BRETSCHNEIDER, RAUTENBERG und GUSTAV KÜHN alle prinzipiellen Fragen in dieser Richtung beantwortet worden sind. Aus dem bekannten Grunde sind diese Arbeiten seinerzeit jedenfalls nicht genügend beachtet worden und dann wohl bald ganz in Vergessenheit geraten.

1888 gelang es dem hervorragenden Delfter Bakteriologen M. W. BEIJERINCK, — dem die landwirtschaftliche Bakteriologie in den verschiedensten Richtungen sehr viel zu verdanken hat — die in den Wurzelknöllchen der Leguminosen lebenden Bakterien zu isolieren und weiterhin mit Hilfe der gewonnenen Reinkulturen sowohl die Knöllchenbildung an der Wurzel wie die Stickstoffbindung im Kulturgefäß experimentell hervorzurufen. Dank den Bemühungen des schon genannten französischen Agrikulturchemikers SCHLÖSING, der Engländer WARRINGTON und FRANKLAND sowie des russischen Bakteriologen WINOGRADSKY wurden ungefähr zur gleichen Zeit die Haupt-Tatsachen über den Verlauf der Salpeterbildung im Boden und über die Eigenart der diesen Prozeß auslösenden Bakterien definitiv festgestellt¹⁾. Desgleichen fanden durch eine im Jahre 1893 von WINOGRADSKY publizierte Mitteilung²⁾ einige Beobachtungen des berühmten französischen Chemikers MARCELLIN BERTHELOT über die im Boden selbst verlaufende Stickstoffbindung³⁾ eine wertvolle Stütze.

Um auch in Deutschland der landwirtschaftlichen Bakteriologie die wünschenswerte Förderung zu sichern, und ihr zugleich eine zentrale Forschungsstelle zu schaffen, wie sie die medizinische Bakteriologie im Reichs-Gesundheitsamt besitzt, beantragte am 27. März 1897 im Deutschen Reichstage der Gutsbesitzer SCHULTZ in Lupitz, dessen große Verdienste um die deutsche Landwirtschaft immer unvergessen bleiben werden, die Errichtung einer „Reichsanstalt für Bakteriologie und Pflanzenschutz“⁴⁾. Formell hat dieser Antrag durch Errichtung der heute in Dahlem bei Berlin bestehenden Biologischen Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft seine Verwirklichung gefunden. Der Forschung auf landwirtschaftlich-bakteriologischem Gebiete wurde allerdings an dieser Stelle bisher nur vorübergehend tatkräftige Förderung zuteil. Daß die gegenwärtige Stellung der Agrikultur-Bakteriologie in Deutschland auch im übrigen noch recht viel zu wünschen übrig läßt, habe ich

¹⁾ Wegen der Literatur und weiterer Einzelheiten vgl. mein „Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie“ 1910, S. 603 ff.

²⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 116, 1893, p. 1385.

³⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 101, 1885, p. 775, T. 104, 1887, p. 205, T. 116, 1893, p. 843.

⁴⁾ Ein Bericht über diese Verhandlung findet sich im Centralblatt f. Bakteriologie, II. Abt., Bd. 3, 1897, S. 260.

bereits betont. Erfreulicherweise liegen die Verhältnisse in anderen Ländern, namentlich in England und in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika weit günstiger. Und es ist dank dem Kosmopolitismus der Bakterien meist ohne weiteres möglich, auch die jenseits des Ozeans ermittelten Resultate zum weiteren Ausbau unserer Wissenschaft heranzuziehen.

Literatur. Von den bereits in ziemlich großer Zahl vorhandenen Schriften bakteriologischen Inhalts mögen die folgenden hier angeführt sein. Wer über spezielle Fragen eingehendere Auskunft wünscht, findet in den (unter C) zitierten Handbüchern die nötigen Hinweise.

- A. Lehrbücher der allgemeinen Bakteriologie.
W. BENECKE, Bau und Leben der Bakterien, 1912.
- A. FISCHER, Vorlesungen über Bakterien, 2. Aufl. 1903¹⁾.
H. JÄGER, Die Bakteriologie des täglichen Lebens, 1909.
- W. KRUSE, Allgemeine Mikrobiologie, 1910.
- E. MACÉ, Traité de Microbiologie, 2^e éd. 1912/13.
- W. L. OMELIANSKY, Grundriß der Mikrobiologie [Russisch], 2. Aufl. 1913.
- B. Lehrbücher der landwirtschaftlichen Bakteriologie.
H. W. CONN, Agricultural Bacteriology, 2^d ed. 1909.
E. KAYSER, Microbiologie agricole, 2^e tir. 1910.
A. KOSSOWICZ, Einführung in die Mykologie der Nahrungsmittel-Gewerbe, 1911.
A. KOSSOWICZ, Einführung in die Agrikultur-Mykologie, I, 1912.
J. G. LIPMAN, Bacteria in Relation to Country Life, 1908.
F. LÖHNIS, Einführung in die Bakteriologie, 1906; in russischer Übersetzung von A. KOLENEW, 1912.
- CH. MARSHALL, Microbiology for Agricultural and Domestic Science Students 1911.
- E. PANTANELLI, Prinzipali Fermentazioni dei Prodotti Agrari, 1912.
- J. PERCIVAL, Agricultural Bacteriology, 1910.
- C. Handbücher der landwirtschaftlichen Bakteriologie.
E. DUCLAUX, Traité de Microbiologie, 1898—1901.
F. LAFAR, Handbuch der technischen Mykologie, Bd. II, 1905—1908, Bd. III, 1904—1906.
F. LÖHNIS, Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie, 1910.
- D. Lehrbücher der bakteriologischen Technik und Diagnostik.
C. GÜNTHER, Einführung in das Studium der Bakteriologie, 6. Aufl. 1906.
K. B. LEHMANN und R. O. NEUMANN, Bakteriologische Diagnostik, 5. Aufl. 1912.
- F. LÖHNIS, Landwirtschaftlich-bakteriologisches Praktikum, 1911.
- E. Zeitschriften und referierende Organe für allgemeine und landwirtschaftliche Bakteriologie.
Centralblatt für Bakteriologie und Parasitenkunde, II. Abt.
Jahresberichte über die Fortschritte auf dem Gebiete der Gärungsorganismen.
Zeitschrift für Gärungsphysiologie, allgemeine, landwirtschaftliche und technische Mykologie.

¹⁾ Dieses Werk ist zwar stellenweise etwas veraltet, aber trotzdem noch recht lesewert.

2. Vorlesung.

Einzelzellen und Zellverbände: Form und Größe. Zellstruktur. Beweglichkeit.

Form und Größe. Die morphologischen wie die physiologischen Eigenschaften der Kulturgewächse und der Haustiere sind für den Landwirt naturgemäß insofern von besonderem Interesse, als sie mit der Leistungsfähigkeit dieser Organismen in bestimmtem Zusammenhang stehen. Ganz dasselbe gilt in bezug auf Form, Bau und Lebensweise der Bakterien sowie der andern für uns in Betracht kommenden Mikroben. Da es sich hier zudem meist um außerordentlich kleine, und deshalb nur mit einem guten Mikroskop deutlich erkennbare Lebewesen handelt, so erscheinen einige weitere Angaben über Form und Größe dieser Organismen allerdings auch deshalb am Platze, um zunächst die nähere Bekanntschaft mit ihnen zu vermitteln.

Während sich alle höheren Pflanzen und Tiere aus einer Vielheit von Zellen und Zellverbänden aufbauen, ist bei den Bakterien, Hefen, Schimmelpilzen und Protozoen die Einzelzelle die Lebens-Einheit. Allerdings bilden die Schimmelpilze nicht selten ausgebreitete, aus vielen Zellen bestehende, fädige Ansammlungen. Aber auch dann bleibt die einzelne Zelle relativ selbständige. Nicht selten sieht man die lang gestreckten Pilzfäden in kurze Einzelglieder, sogen. „Oidien“ zerfallen. Besonders der auf saurem Rahm oft als zarter weißer Pelz sichtbare Milchsimmel (*Oidium lactis*) zeigt diese Erscheinung sehr deutlich.

Die auf Tafel I zusammengestellten Abbildungen führen uns in 1000facher Vergrößerung die charakteristischen Formen der Bakterien, einiger Hefen, des Milchsimmels und einiger Protozoen vor Augen. Die Form der Zellen ist im Prinzip die gleiche wie bei den höheren Organismen: kuglig oder oval, zylindrisch oder schraubenförmig. Im einzelnen herrscht große Mannigfaltigkeit. Meist erscheinen die Hefe- und Schimmelpilze sowie die Protozoen bei der mikroskopischen Betrachtung im Vergleich zu den Bakterien als verhältnismäßig große Organismen. Doch sind z. B. die unter Nr. 12 dargestellten Spirochaeten,

die zwar früher allgemein zu den Bakterien gerechnet wurden, jetzt aber, wenigstens von manchen Autoren, als Protozoen angesehen werden, in der Regel viel zartere Gebilde als die Schraubenbakterien oder „Spirillen“. Auch das auf Tafel I reproduzierte Azotobacter (Nr. 5), das als stickstoffbindender Bodenbewohner uns weiterhin noch näher beschäftigen wird, fällt durch seine relativ ansehnliche Größe sofort ins Auge. Im allgemeinen hat man aber eben doch, auch wenn man durch Färben des Präparates oder durch Einbettung in Tusche die Bakterien möglichst gut sichtbar zu machen sucht, meist nur den Eindruck von Punkten, kürzeren oder längeren, geraden oder gekrümmten Strichen.

Wie ungeheuer groß jedoch in der Tat eine 1000fache (lineare) Vergrößerung ist, und wie fabelhaft winzig die Bakterien in Wirklichkeit sind, das kann man nur auf Umwegen versuchen, sich einigermaßen klar zu machen. Ein Mensch würde bei gleicher Vergrößerung einem zum Himmel ragenden Riesen von etwa 1700 m Höhe und 500 m Breite gleichen. Zwischen dieser „allerhöchsten“ Persönlichkeit und uns bestände aber genau dieselbe Größen-Differenz wie zwischen uns und den kleineren, bei 1000facher Vergrößerung im Mikroskop (wie in den Abbildungen Nr. 1—4 und 6 auf Taf. I) ca. $1\frac{1}{2}$ mm in der Länge messenden Bakterien. Und das gleiche Verhältnis müssen wir, wenn es unser Denkvermögen gestattet, noch einmal weiter übertragen, um schließlich bei den Bakterien selbst (in natürlicher „Größe“) anzulangen.

Bakterien und andere Mikroorganismen muß man demnach nach Tausendstel Millimetern, sogen. „Mikromillimetern“ messen. Gewöhnlich kürzt man diesen Ausdruck zu „Mikron“ (Plur. „Mikra“) ab. In Verbindung mit einer Zahl pflegt man ihn mit dem griechischen Buchstaben μ zu bezeichnen. Die Mehrzahl der kugelförmigen Bakterien (oder, wie man gewöhnlich zu sagen pflegt, der „Kokken“) besitzt einen Durchmesser von etwa $1\mu^1$). Die kurzen Stäbchenformen, zu denen z. B. die Knöllchenbakterien gehören, sind meist $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}\mu$ breit und $1\text{---}1\frac{1}{2}\mu$ lang, dagegen weisen die Langsstäbchen in der Regel, wie schon ihr Name sagt, besonders was die Längenausdehnung betrifft, viel ansehnlichere Dimensionen auf. Bei den Bakterien, die man in der Milch, im Dünger und im Boden gewöhnlich zu Gesicht bekommt, liegt die untere Grenze etwa bei $\frac{1}{4}\mu$, die oberste (für Einzelzellen) bei ca. 10μ . Zellverbände können selbstverständlich viel größer werden. Den Zellen der Hefen und der Schimmelpilze sowie den Protozoen darf im großen Durchschnitt etwa die 5—10—20fache Größe der Bakterien zugeschrieben werden; im einzelnen bestehen allerdings auch hier zahlreiche und weite Differenzen.

¹⁾ Da die Bezeichnung „Bakterie“ von ἡ βακτηρία = der Stab herstammt, so ist es genau genommen, allerdings ein Widerspruch in sich, von „kugelförmigen“ Bakterien zu sprechen, wie es gleichwohl allgemein üblich ist. Der Name Kokkus ist hergeleitet von ὁ κόκκος = der Fruchtkern.

Tafel I.



1-4: **Kugelförmige Bakterien**, mit Methylenblau gefärbt, 1000-fach vergr.

1. Mikrokokken	2. Milchsäure- Streptokokken.	3. Mastitis- Streptokokken.	4. Sarcina aus Luft.
----------------	----------------------------------	--------------------------------	-------------------------



5-8: **Stäbchenförmige Bakterien**, mit Fuchsin gefärbt, 1000-fach vergr.

5. Azotobacter	6. Knöllchen-Bakterien (Übergangsform).	7. Bact. casei (Kurzstäbchen).	8. Heu-Bazillen (Langstäbchen).
----------------	--	-----------------------------------	------------------------------------



9-12: **Komma- u. schraubenförmige Mikroben**, Tuschepräparate, 1000-fach vergr.

9. Proteus (Übergangsform).	10. Vibrionen	11. Spirillen	12. Spirochaeten aus Stroh-Aufguss.
--------------------------------	---------------	---------------	--



13-16: **Hefen, Milchsimmel u. Protozoen**, lebend, 1000-fach vergr.

13. Rundliche Hefeform.	14. Gestreckte Hefeform.	15. Milchsimmel (Oidium lactis).	16. Protozoen aus Faulflüssigkeit.
----------------------------	-----------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------

Lei
Allse
Teng
Li
Sche
Punk
Tru
Jp
Pre
Allo

II A]

Ba
31.0

Die kleinste der bisher beschriebenen Bakterien-Arten dürfte das nur $0,1-0,3\text{ }\mu$ in der Breite messende *Spirillum parvum* ESMARCH sein¹⁾. Ungefähr ebenso klein ist der Erreger der Lungenseuche der Rinder. Reichlich zehnmal so dick ($2,5-3,5\text{ }\mu$ breit) ist dagegen das in Brackwasser gefundene *Spirillum colossus* ERRERA²⁾. Ein noch riesigeres Spirillum (*Spirobacillus gigas*) fand A. CERTES in Zisternenwasser von Aden³⁾. Es war meist $150-160\text{ }\mu$, in Ausnahmefällen sogar $400\text{ }\mu$ lang und zeigte $20-140$ Windungen von je $4-6\text{ }\mu$ Weite. Ungewöhnlich groß sind auch gewisse Schwefelbakterien, auf die wir z. T. in der 13. Vorlesung noch näher zu sprechen kommen. Von ihnen seien hier erwähnt das ca. $3\text{ }\mu$ breite, bis zu $50\text{ }\mu$ lange *Thiospirillum Winogradskii* OMELIANSKI⁴⁾, das etwa $60\text{ }\mu$ große *Achromatium oxaliferum* SCHEWIACOFF⁵⁾ sowie die bis $45\text{ }\mu$ dicken Fäden der *Beggiatoa mirabilis*⁶⁾.

Nachdem SIEDENTOPF und ZSIGMONDY ihr ultramikroskopisches Verfahren ausgearbeitet hatten⁷⁾, wurde natürlich auch dieses neue Hilfsmittel benutzt, um nach noch kleineren Lebewesen, als die kleinsten im gewöhnlichen Mikroskop eben noch sichtbaren Bakterien zu suchen. Manche Forscher berichteten zwar von allerhand „Ultramikroorganismen“, die ihnen zu Gesicht gekommen seien⁸⁾. In den meisten Fällen war dagegen das Ergebnis negativer Art⁹⁾. Allerdings steht fest, daß der Ansteckungsstoff mancher Krankheiten auch die dichtesten Bakterienfilter passiert. Es ist aber vorläufig zum Teil noch fraglich, ob es sich hier überhaupt um organisierte Krankheitserreger handelt. Jedenfalls ist im Auge zu behalten, daß man bisher niemals unter irgendwelchen Bedingungen größere Ansammlungen von Mikroorganismen entdeckt hat, die sich nicht bei genügend starker (eventuell 2000facher) Vergrößerung als aus deutlich sichtbaren Gebilden bestehend hätten erkennen lassen.

Die sehr geringe Größe der Mikroorganismen ist für deren Leistung von hervorragender Bedeutung. Denn bei der Mehrzahl der Umsetzungsprozesse, die sie auslösen, handelt es sich um einen Austausch der innerhalb und außerhalb ihres Körpers befindlichen Stoffe. Je kleiner ein Gegenstand ist, um so größer ist bekanntlich seine Oberfläche im Verhältnis zu seinem Volumen. Wie ungemein wichtig dieser Punkt aber gerade für die Bakterien und deren Wirken ist, das können wir uns durch die in Abb. 5 wiedergegebene Zeichnung veranschaulichen. Die sechs Seitenflächen eines Würfels von 1 mm Kantenlänge entsprechen dem 6 qmm großen Rechteck A. Nehmen wir der Einfachheit halber die Mikroorganismen ebenfalls als kleine Würfel von $10\text{ resp. }1\text{ }\mu$

¹⁾ Centralblatt f. Bakteriologie, I. Abt., Originale, Bd. 32, 1902, S. 561.

²⁾ Recueil de l'Institut Botanique, Bruxelles, T. 5, 1902, ref. Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 9, S. 608.

³⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 131, 1900, p. 75.

⁴⁾ Centralblatt f. Bakteriologie, II. Abt., Bd. 14, 1905, S. 769.

⁵⁾ Verhandlungen d. naturhist. u. mediz. Vereins zu Heidelberg, Neue Folge, Bd. 5, 1897, S. 44.

⁶⁾ Berichte d. Deutsch. Botan. Gesellschaft, Bd. 19, 1901, S. 369.

⁷⁾ Annalen der Physik [4. Folge], Bd. 10, 1903, S. 1.

⁸⁾ Vgl. GAIDUKOV, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 16, 1906, S. 667.

⁹⁾ MOLISCH, Botanische Zeitg., Bd. 66, 1908, I. Abt., S. 131; CANO, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Origin. Bd. 49, 1909, S. 78; A. MEYER, Archiv f. Protistenkunde, Bd. 24, 1912, S. 76.

Kantenlänge an, so würden von ihnen 1 Million bezw. 1000 Millionen in dem Würfel von 1 emm Inhalt Platz finden. Die Oberfläche der „Pilz- und Protozoen-Würfel“ (von 10μ Länge) würde in ihrer Gesamtheit das 600 qmm große Rechteck B repräsentieren, die Total-Oberfläche der „Bakterienwürfel“ (von 1μ Länge) dagegen das 6000 qmm große Rechteck C. Die 100- bezw. 1000fache Verkleinerung des Körperinhalts hat eine 100- bezw. 1000fache Vergrößerung der Körperoberfläche und damit wenigstens in gewissem Grade auch der Leistung zur Folge.

Um welche enormen Mengen es sich bei den in 1 cmm Platz findenden 1000 Millionen Bakterien tatsächlich handelt, lehrt folgende Überlegung: Angenommen, man könnte diese, in einem Häufchen von der Größe eines Stecknadelkopfes vereinten Zellen einzeln abzählen und führte dies in der Weise aus, daß man in jeder Sekunde zwei Keime abseits legte, so käme man im Laufe eines zehnstündigen Arbeitstages zu dem

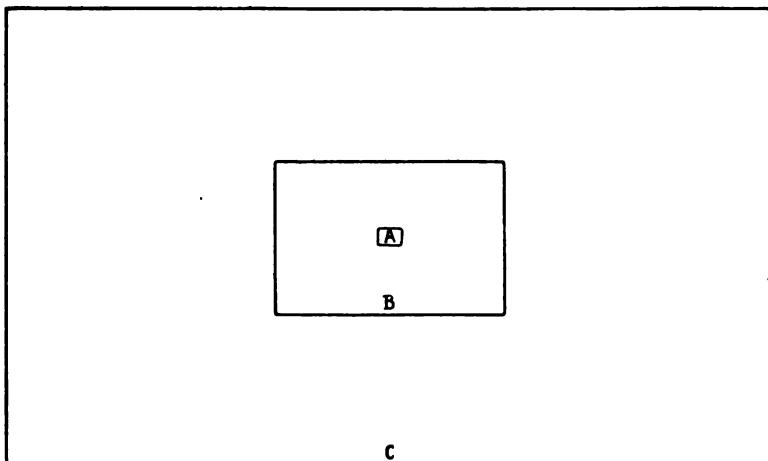


Abb. 5. Rechteck A: Oberfläche eines Würfels von 1 mm Kantenlänge, B: Gesamt-Oberfläche von 1 Million Würfeln von je 10μ Kantenlänge, C: " " " 1000 " " " " 1 " " "

relativ recht bescheidenen Ergebnis von 72000, im ganzen Jahre (bei 300 gleich interessanten Arbeitstagen) auf rund 21 Millionen. Fänden sich noch vier gleich unermüdliche Mitarbeiter hinzu, dann dürften wir hoffen, nach Verlauf von zehn Jahren die Durchzählung der 1000 Millionen beendet zu sehen.

Berücksichtigen wir die fast unfaßbare Winzigkeit der Bakterien, so gewinnen wir auch den richtigen Standpunkt gegenüber den oft weit überschätzten, auf den ersten Blick meist erstaunlich hoch erscheinenden Keimzahlen in und auf den verschiedenen Nahrungsmitteln, in der Luft, im Staub, im Wasser usw. In Abb. 6 sind (in $\frac{1}{10}$ der natürlichen Größe) drei Glasgefäße abgebildet, die je 20 kg Milch, Butter und Käse enthalten. In der Mitte der vorderen Glasscheiben sind kleine schwarze Glaswürfel befestigt, die anzeigen, welchen Raum die in dem betreffenden

den Gefäß insgesamt vorhandenen Bakterien einnehmen würden, wenn alle Zellen jedesmal an der einen Stelle vereinigt wären.

2500 Millionen Bakterien in 1 Liter Milch nehmen, wie wir soeben feststellten, einen Raum von ca. 2,5 cmm in Anspruch, d. h. 1 Liter Milch enthält in diesem Falle 999 997,5 Teile Milch und nur 2,5 Teile Bakterien, die sich überdies keineswegs allgemein als nachteilig erweisen. Wir werden uns später mit diesen Fragen noch eingehend zu beschäftigen haben.

In bezug auf die Form der Einzelzellen ist noch das Folgende besonders beachtenswert. Im lagernden Stalldünger, im Boden und an allen anderen Orten, wo lebhafte Zersetzungsprozesse vor sich gehen,



Abb. 6. Glaskästen mit Milch, Butter und Käse (1/10 nat. Gr.).

Die kleinen schwarzen Würfel an den vorderen Glasscheiben geben den Raum an, den die in dem betreffenden Gefäß vorhandenen Bakterien einnehmen würden, wenn man sie an einer Stelle vereinigen könnte. — Keimgehalt pro ccm in der Milch: 2500000, in der Butter: 20000000, im Käse: 500000000.

pflegen die stäbchenförmigen Bakterien weitaus an Zahl vorzuherrschen. Der Grund hierfür ist, wenn wir das soeben über Oberfläche und Leistung Gesagte berücksichtigen, leicht zu finden. Bei gleichem Volumen besitzen die Stäbchenformen eine verhältnismäßig viel vorteilhaftere Oberflächen-gestaltung als die Kokken; sie verdrängen diese in dem — hier wie überall herrschenden — Kampf ums Dasein. Andererseits können sich kugelförmige Bakterien natürlich weit eher in der Luft schwabend erhalten als dies den Stäbchen möglich ist; die runden Formen gehören demgemäß zu den häufigsten Luft-Mikroben. Zwischen den drei Grund-

formen (Kugel, Stäbchen und Schraube) bestehen — wie einige der auf Tafel I wiedergegebenen Abbildungen deutlich erkennen lassen — keine scharfen Grenzen. Sowohl zwischen Kokken und Kurzstäbchen wie zwischen Stäbchen und „Kommabazillen“ oder „Vibrionen“ gibt es allerhand Übergangsformen. Außerdem aber sehen wir, daß es sich nicht nur von Fall zu Fall um kleinere oder größere morphologische Unterschiede handelt; bei ein und derselben Art kann ebenfalls die Gestalt z. T. in recht weiten Grenzen schwanken. In dieser Hinsicht fällt vor allem die auf Tafel I als Nr. 9 dargestellte Bakterienart ins Auge, der man deshalb auch den Namen *Proteus* beigelegt hat, eingedenk des homierischen Meergottes gleichen Namens, von dem die Sage ging, daß er nach Belieben jede Gestalt annehmen könne. Bei näherem Zusehen treten aber besonders auch bei den Knöllchenbakterien (I, 6), sowie bei den in Kettenform gelagerten Kokken, den sogenannten „Streptokokken“ (I, 2 und 3) deutliche Abweichungen von der typischen Grundform her vor¹⁾. Im zuletzt genannten Falle strecken sich die runden Einzelglieder nicht selten entweder in der Längsrichtung der Kette oder quer zu ihr. Die länglich-ovalen, oft auch einseitig zugespitzten Zellen (I, 2) sind besonders für die gewöhnlichen Milchsäure-Streptokokken charakteristisch; dagegen sind die quergestellten Glieder (I, 3) am häufigsten bei den ebenfalls in der Markt-Milch nicht selten vorkommenden *Mastitis-Streptokokken* (aus entzündeten Eutern) wahrzunehmen. In der 16. Vorlesung wird die sehr wichtige Milch-Streptokokken-Frage näher zu diskutieren sein; wir werden uns dann dieser Formen-Differenzen zu erinnern haben.

Bekanntlich bestehen auch bei den höheren Organismen ausnahmslos innerhalb einer jeden Art kleinere oder größere Ungleichheiten in der äußeren Erscheinung sowohl der Einzel-Individuen wie der Stämme und der Rassen. Die höchst einfache Form der Bakterien bringt es mit sich, daß hier diese Abweichungen besonders auffallend und störend hervortreten. Fast niemals ist es möglich, eine Bakterienart allein auf Grund des mikroskopischen Bildes mit genügender Sicherheit zu erkennen. Andere, später zu erörternde Hilfsmittel sind von viel größerer Wichtigkeit. Das Mikroskop spielt bei weitem keine so große Rolle im bakteriologischen Laboratorium, wie man von vornherein gewöhnlich glaubt.

Diese Formenänderungen haben nun allerdings natürlich auch ihre Ursachen und ihre Grenzen. Von einer regellosen, unbeschränkten Vielgestaltigkeit — wer Fremdworte liebt, mag „Polymorphismus“ sagen — kann nicht die Rede sein. Namentlich in früheren Zeiten neigten manche Forscher zu dieser Annahme. Es hat sich indessen

¹⁾ Eine aus Gliedern zusammengesetzte Halskette nannten die Griechen *στρεπτός*.

herausgestellt, daß mangelnde Reinheit der geprüften Kulturen diese Irrtümer verschuldete.

Die ältere Polymorphismus-Theorie fand ihre schärfste Ausprägung besonders in zwei Werken: HALLIER, Die pflanzlichen Parasiten, 1866 und BILLROTH, Untersuchungen über die Vegetationsformen von *Coccobacteria septica*, 1874. Später haben STUTZER und HÄBTLEB einen „Salpeterpilz“ von märchenhafter Vielgestaltigkeit entdeckt (Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 3, 1897). Auch er entpuppte sich bald bei schärferem Zusehen als ein Gemisch vieler verschiedener Bakterien- und Pilzarten. Zehn Jahre später hat dann noch einmal DUNBAR in einem besonderen Werke („Zur Frage der Stellung der Bakterien, Hefen und Schimmelpilze im System“) den Nachweis zu führen versucht, daß Algen, Schimmelpilze, Hefen und Bakterien gewissermaßen nur verschiedene Wuchsformen ein und desselben Organismus seien.

Nachdem durch R. KOCHS Entdeckungen ein sicheres Arbeiten auf bakteriologischem Gebiet möglich geworden war, verfiel man nun aber, auf Grund der Beobachtungen an einer, wenn auch recht ansehnlichen, so doch immerhin beschränkten Zahl von Bakterien-Reinkulturen teilweise in das entgegengesetzte Extrem. Die Form der Bakterien sollte innerhalb der betreffenden Art so gut wie vollkommen konstant sein; alle etwa doch vorhandenen abnormen Wuchsformen wurden als Absterbe-Erscheinungen, als sog. „Involutionsformen“ in der Regel keiner eingehenderen Beachtung gewürdigt.

Das besonders im Verlauf der letzten 10 bis 15 Jahre zusammengetragene Beobachtungsmaterial erfordert nun allerdings ein Aufgeben dieses extremen Standpunktes. Gegenwärtig ist die Sachlage etwa die folgende:

Mehr oder minder große Abweichungen in bezug auf Gestalt und Größe der Mikroben kommen innerhalb derselben Art und auch innerhalb desselben Stammes zweifellos vor. Meist sind sie durch äußere Einflüsse verursacht. Doch können auch ab und zu — genau wie bei den höheren Organismen — irgendwelche, im Zellinnern selbst gegebene, an sich nicht erkennbare Anstöße zu äußerlich wahrnehmbaren Änderungen führen. Selbstverständlich bleibt auf diesem Gebiete noch sehr viel zu erforschen übrig. Aber jedenfalls können wir uns besonders bei den praktisch wichtigen und deshalb häufig untersuchten Spezies oft davon überzeugen, wie namentlich Differenzen in der Ernährung, die Einwirkung von Stoffwechselprodukten, verschieden hohe Wärmegrade, Ungleichheiten im Wassergehalt des Substrates u. a. m. bestimmte Änderungen der Form zur Folge haben.

Es ist bekannt, in welch erstaunlichem Umfange es gelungen ist, durch Züchtung und Ernährung den gesamten Habitus unserer Haustiere und Nutzpflanzen speziell in den letzten 100 Jahren umzugestalten. Bedenken wir, daß es sich bei den Bakterien nicht um derartige, höchst komplizierte Organismen, sondern um Zellen einfacherster Art handelt, so werden wir recht wohl verstehen können, daß es gerade hier besonders leicht ist, durch Auslese bestimmter Formen und durch Änderung der Wachstums-Bedingungen mitunter sehr weit differierende Modifikationen zu erhalten.

Alle abnormen Wuchsformen schlechthin als „Involutionsformen“ zu bezeichnen, ist zweifellos nicht richtig¹⁾). Gewiß mag es sich bei manchem dieser sonderbaren, unregelmäßigen Gebilde in der Tat um Entartungs- und Absterbe-Erscheinungen handeln. Z. B. bekommt man in alten Kulturen des (auf Tafel I in Fig. 7 in seiner normalen Langstäbchen-Form dargestellten) *Bacterium casei* sehr oft derartige auffällige Formen zu Gesicht (s. Taf. II, Fig. 1), die wenigstens z. T. lediglich als monströse, zu weiterer Entwicklung unfähige Mißbildungen anzusehen sein dürften. Indessen sind die Akten hierüber noch keineswegs abgeschlossen. Unter Umständen nehmen die typischen großen Langstäbchen von der Form des auf Tafel I an 8. Stelle dargestellten Heubazillus kuglige, ein- oder zweiseitig zugespitzte Formen an. So ähnelt z. B. der zur Stickstoffbindung befähigte, in südindischer Erde (von der Malabar-Küste) aufgefundene *Bacillus malabarensis* normalerweise dem Heubazillus sehr; welche auffälligen Veränderungen aber die Entwicklung in einer Zuckerlösung oder auf gekochter Kartoffel zur Folge hat, zeigen uns die Figuren 3 und 4 auf Tafel II.

Außer bei dem *Bacillus malabarensis* sind ähnliche Kugel- und Rübenformen bei einer ganzen Reihe von mehr oder weniger nahestehenden Stäbchen gelegentlich beobachtet worden²⁾. Besonderes Interesse verdienen gewisse große kugelige z. T. Streptokokken-artige Wuchsformen des weitverbreiteten und ebenfalls zur Stickstoffbindung befähigten Buttersäurebazillus (*Bacillus amylobacter*), der uns noch mehrfach beschäftigen wird³⁾. Diese Gebilde erinnern außerordentlich an das uns bereits bekannte Azotobakter (Taf. I, Fig. 5), und es ist wohl kein Zufall, daß diese normaler Weise als große Kugel- oder Kurzstäbchenform auftretende Art gelegentlich vollständig die morphologischen Eigenschaften eines Heubazillus oder einer diesem nahestehenden Art annehmen kann⁴⁾.

Die auffallenden Formen, die *Bacillus malabarensis* und andere ihm verwandte Stäbchen in Zuckerlösung bilden, scheinen mit der in diesem Falle wahrnehmbaren Stickstoffbindung in engem Zusammenhange zu stehen. Um Degenerations- oder Involutionsformen handelt es sich also hier entschieden nicht. Eher könnte man etwa von einer besonderen „Arbeitsform“ sprechen. Dasselbe gilt für die merkwürdigen verzweigten Formen der Knöllchenbakterien (*Bacterium radicicola*).

¹⁾ Der gelegentlich in der Literatur gebrauchte Ausdruck „teratologische“ Wuchsformen (abgeleitet von $\tau\epsilon\pi\alpha\zeta$ = die außergewöhnliche, wunderbare Erscheinung) ist wohl entbehrlich. „Abnorm“ besagt dasselbe und ist jedenfalls leichter verständlich.

²⁾ GOTTHEIL, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 7, 1901, S. 730, Tafel I und II; NEIDE, ebenda, Bd. 12, 1904, S. 552., Tafel II und III; A. MEYER, Berichte d. Deutschen Botan. Gesellschaft Bd. 28, 1905, S. 349; HAMMERL, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Orig., Bd. 42, 1906, S. 1; LÖHNIS und PILLAI, Centralbl. f. Bakt. II. Abt., Bd. 19, 1907, S. 96 mit Tafel.

³⁾ BREDEMANN, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 23, 1909, S. 385—568 m. 2 Tafeln, s. spez. Tafel II, Fig. 1—6.

⁴⁾ Diese Frage soll in nächster Zeit eingehend bearbeitet werden.

Auf den gewöhnlich im bakteriologischen Laboratorium benutzten Nährböden wächst diese Art, wie wir wissen, in Gestalt kurzer Stäbchen (Taf. I, Fig. 6), dagegen zeigt sie sowohl in den Wurzelknöllchen wie in Zuckerlösungen, in denen es zur Stickstoffbindung kommt, eigenartige, gabelige, mitunter geradezu geweihtartig verzweigte Wuchsformen (s. Taf. II, Fig. 2).

Man konnte sich früher zunächst nicht darüber klar werden, ob es sich hier tatsächlich um Bakterien oder nur um bakterienähnliche Produkte der Wurzelzellen handelte. BRUNCHORST, dem die zweite Annahme richtiger zu sein schien, führte die Bezeichnung „Bakteroiden“ in die Literatur ein¹⁾. Leider wird dieser s. Z. irrtümlicherweise geprägte Ausdruck auch heute noch durchaus nicht selten benutzt, trotzdem wir ja nun längst wissen, daß wir es nicht mit bakterienähnlichen Zellelementen, sondern mit wirklichen Bakterien zu tun haben.

Außer bei den Knöllchenbakterien hatte man auch bereits seit ziemlich langer Zeit bei den Tuberkel- und bei den Diphtherie-Bakterien eine ausgesprochene Neigung zur Bildung von Verzweigungen bemerkt. Indessen handelt es sich hierbei keineswegs um eine nur bei diesen Mikroben wahrnehmbare Eigentümlichkeit, wie gegenwärtig noch vielfach geglaubt wird. Je mehr man sich darnach umsieht, um so mehr findet man in allen Bakteriengruppen gelegentlich verzweigte Formen.

Daß dem so ist, bestätigen sowohl ältere, wie neuere Erfahrungen²⁾. Selbstverständlich können nur die Stäbchen- und Schrauben-, nicht die Kugelformen solche Verzweigungen zeigen. Aber wir haben schon gehört, daß Übergänge zwischen Kugel- und Stäbchen mehrfach beobachtet worden sind. Wie bei den Knöllchenbakterien können auch bei *Bacterium casei* deutliche Verzweigungen vorkommen (s. Taf. II, Fig. 1). Und gerade zwischen dieser Art und den Milchsäure-Streptokokken sind ebenfalls sicher Übergangsformen vorhanden. Wie ich schon vor einer Reihe von Jahren feststellen konnte, ist unter den mit den Knöllchenbakterien verwandten Kurzstäbchen (aus der Gruppe des *Bacterium pneumoniae*) die Befähigung zur Verzweigung und gleichzeitig zur Stickstoffbindung sehr verbreitet³⁾. Je mehr man in diese Dinge eindringt, um so mehr muß man sich davon überzeugen, daß die einfachen und zunächst so konstant erscheinenden Kugel-, Stäbchen- und Schraubenformen der Bakterien sehr wesentlich den gewöhnlich gehabten Kulturmaßnahmen zu verdanken sind. Außergewöhnliche Züchtungs-Bedingungen führen nicht selten zu ganz unerwarteten Ergebnissen. Sicher wird sich in Zukunft, und gerade bei agrikultur-bakteriologischen Arbeiten, die oft ganz neue Wege verlangen, noch manche sehr überraschende Beobachtung herausstellen. Selbstverständlich kehren wir aber hierbei durchaus nicht etwa zu der alten phantastischen Meinung von der nahezu unbegrenzten Vielgestaltigkeit der Bakterien und niederen Pilze zurück.

¹⁾ Berichte d. Deutsch. Botan. Gesellschaft, Bd. 3, 1885, S. 245.

²⁾ JOHAN-OLSEN, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 3, 1897, S. 273; A. MEYER, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Bd. 30, 1901, S. 49; LEHMANN und NEUMANN, Bakteriolog. Diagnostik, 5. Aufl. 1912., Bd. II, S. 545.

³⁾ Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 14, 1905, S. 588—593. Auch der von LEPECHKIN (ebenda, Bd. 12, 1904, S. 641 und Bd. 13, 1904, S. 13) beschriebene sich stark verzweigende *Bac. Berestnewi* scheint dieser Gruppe anzugehören.

Es ist viel darüber hin- und hergeschrieben worden, ob es sich bei den mancherlei Verzweigungen um „echte“ oder um „falsche“ Verzweigung (für Fremdwortliebhaber: um „Pseudoramifikation“) handelt. Bei den Knöllchenbakterien und ebenso bei *Bacterium casei* erscheinen gabelige Gebilde im gefärbten Präparat z. T. ganz gleichmäßig tingiert und erweisen sich auch sonst unzweifelhaft als „echte“ Verzweigungen. Z. T. bleibt indessen die Färbung lückenhaft und dann sieht es allerdings ganz so aus, als ob hier nur eine gemeinsame Hülle die einzelnen Kurzstäbchen zusammenhielte (s. Taf. II, Fig. 1 und 2). Wie in diesem Falle können in der Tat auch sonst derartige Zellverbände die Gestalt „falscher“ Verzweigungen annehmen. Meist bleibt es allerdings bei einfachen Ketten und Fäden (s. Taf. I, Nr. 3 und 9). Bei den „Ketten“ ist der Aufbau aus den Einzelzellen noch deutlich erkennbar; bei den Fäden fehlen dagegen die Scheidewände entweder ganz, oder sie sind doch jedenfalls nicht deutlich sichtbar. Mitunter



Abb. 7. Sproßverband einer Hefe (500fach vergr.).



Abb. 8. Verzweigter Faden eines Schimmelpilzes (500fach vergr.).

treten die Kokken auch in Gestalt Warenballen-ähnlicher Zellverbände auf; man nennt diese Gebilde, über deren Entstehung ich in der nächsten Vorlesung noch kurz sprechen werde, *Sarcina*¹).

Bei den Hefen und bei den Schimmelpilzen sind einfache und verzweigte Ketten und Fäden nun allerdings weit häufiger als bei den Bakterien (vgl. Abb. 7 und 8). Besonders bei den Schimmelpilzen wird das von dem reich verzweigten „Myzel“ gebildete Fadengeflecht oft so ansehnlich, daß es z. B. auf saurem Rahm, auf Käse, auf alten Brotresten u. dgl. schon mit unbewaffnetem Auge als feinstes radiär ausstrahlendes Netzwerk erkannt werden kann².

Zellstruktur. Der wenig komplizierten äußeren Gestalt der Mikroorganismen, in erster Linie der Bakterien, entspricht eine relativ einfache Zellstruktur. Aus naheliegenden Gründen ist im einzelnen

¹) Die Lateiner nannten das Gepäck, das Bündel *sarcina*.

²) Das Wort „Myzel“ ist zusammengezogen aus *μύεις* = Pilz und *ἡλίος* = Sonne.

nicht allzuviel Sichereres bekannt. Die außerordentliche Winzigkeit dieser Gebilde zieht naturgemäß einer gründlichen Durchforschung dieses Gebietes verhältnismäßig enge Grenzen. Für unsere Zwecke dürfte der Hinweis genügen, daß — ganz ebenso wie die den höheren Organismus aufbauenden Einzelemente — auch die Zelle der Mikroorganismen vornehmlich aus dem gewöhnlich von einer Haut (Membran) umkleideten, als Träger des Lebens fungierenden Protoplasma besteht, in dem (bei Anwendung geeigneter Präparations-Methoden) allerhand Zelleinschlüsse, mitunter auch Hohlräume (Vakuolen) gesehen werden können.

Die Membran ist bei den Pilzen und gewöhnlich auch bei den Bakterien verhältnismäßig leicht als eine mehr oder minder derbe Haut erkennbar, die sich unter Umständen vom Protoplasma loslösen kann. Den Protozoen fehlt dagegen, zwar nicht immer, aber doch oft die feste Zellhaut; auch bei manchen, herkömmlicherweise noch zu den Bakterien gerechneten Organismen scheint es sich so zu verhalten. Lediglich das Protoplasma nimmt hier nach außen hin eine etwas dichtere Beschaffenheit an und sorgt so für einen gewissen Abschluß. Die Zellform ist naturgemäß bei diesen vollkommen nackten Organismen weit weniger bestimmt als bei den umhütteten. — Genau genommen, kann man ja überhaupt nur diese als „Zellen“ bezeichnen. Namentlich unter den Protozoen des Wassers und des Bodens begegnen uns sehr gewöhnlich solche Formen, die durch oft sehr originelle Änderung ihrer Gestalt sofort ins Auge fallen.

An der Außenseite sind die Mikroorganismen fast ausnahmslos von einer mehr oder minder konsistenten Schleimhülle umgeben. Größere Ansammlungen erscheinen fast immer schleimig oder klebrig. Kommen zufällig in Milch, Brot, Zuckersäften u. dergl. Bakterien- oder (seltener) Pilz-Arten mit besonders mächtig ausgebildeter Schleimhülle zur Entwicklung, so kann die ganze Masse kleister- bis gummiartige oder zähflüssige Beschaffenheit annehmen. Unter Umständen ist es möglich, aus solch schleimiger Milch meterlange Fäden zu „spinnen“.

Ein recht beliebter, aber nicht nur höchst überflüssiger, sondern zudem ganz unrichtiger terminus technicus für derartige schleimige Bakterien-Ansammlungen heißt „Zoogloea“, was ja zu deutsch nichts anderes als „Tierschleim“ bedeuten würde. Wie bei den „Bakteroiden“ scheint auch hier der schöne Klang des Wortes zu dessen fortgesetzter mißbräuchlicher Verwendung Veranlassung gegeben zu haben.

Betrachten wir die Mikroorganismen lebend, in irgend einer Flüssigkeit suspendiert, so sehen wir bei scharfer Einstellung des Mikroskopes, daß sie von einem schmaleren oder breiteren, hell leuchtenden Hof umgeben sind (vgl. Taf. I, Fig. 13—16). Diese Lichtbrechung ist wenigstens teilweise durch das Vorhandensein der schleimigen Außenschicht bedingt. Beim Trocknen schrumpft die Schleimhülle gewöhnlich ein. Färbt man dann ein solches Trockenpräparat, so sieht man nicht selten, daß die

dunkel gefärbten Bakterien durch eine scharfe helle Zone von dem blaß gefärbten Hintergrund getrennt sind (Tafel II, Fig. 3 und 9). Daß es sich hier nicht mehr um die (tatsächlich relativ schwer färbbare) Schleimhülle, sondern um einen durch Schrumpfung entstandenen Hohlraum handelt, ist ohne weiteres an denjenigen Stellen zu erkennen, an denen die Bakterien selbst bei der Anfertigung des Präparates nach der Seite hin, eventuell sogar bis außerhalb des klaren Holes verschoben worden sind (Taf. II, 9). Gewöhnlich erfordert die Färbung des Schleimes eine besondere Behandlung. Liegen zusammenhängende klumpige Schleimmassen vor, so liefert dann ein solches Präparat etwa ein Bild wie das auf Tafel II unter Nr. 10 wiedergegebene; diese gewöhnlich als *Leuconostoc* bezeichnete Streptokokkenart ruft in Zuckersäften Froschlaichähnliche Bildungen hervor. Die solidesten und am schwersten färbaren Schleimhüllen nennt man Kapsel. Durch den Besitz einer solchen ist z. B. der Milzbrand-Bazillus in gewissen Entwicklungsstadien ausgezeichnet; der Nachweis von „Kapselbakterien“ im Blute eines milzbrand-verdächtigen Tieres ist für die Diagnose von wesentlicher Bedeutung (Abb. 9).



Abb. 9. Milzbrand-Bazillen mit Kapseln (1000-fach vergr.) nach GÜNTHER.

Bei manchen in Fadenform wachsenden Bakterien werden aus den Kapseln mehr oder wenige lange „Scheiden“, die eventuell durch Auf- oder Einlagerung von Fremdkörpern (Eisenhydroxyd u. a.) eine besonders solide Beschaffenheit annehmen können.

Von den im Innern der Zellen sichtbaren Einschlüssen sind die sogen. „Sporen“ der Bakterien am wichtigsten. Das sind stark lichtbrechende, gewöhnlich eiförmige oder kugelige, selten zylindrische Gebilde, die als Dauerformen zur sicheren Erhaltung der Art beitragen. In der nächsten Vorlesung werden wir uns näher mit ihnen beschäftigen. Außerdem können natürlich allerhand Reservestoffe (Fett, Glykogen u. a. m.) in Tropfenform im Zellinnern sichtbar werden. Weiterhin treten mancherlei körnige Gebilde auf, die schon sehr verschiedene Deutungen erfahren haben und die auch zweifellos nicht einheitlicher Natur sind. Zellkerne, Chromidien, Centrosomen, Chromatinkörper, sporogene Körper, Zerfallsprodukte, Anzeichen besonders großer Lebenskraft und noch um vieles anderes kann oder soll es sich hierbei handeln. Über so manches, weit wichtigere, bakteriologische Problem sind noch nicht soviel Zeilen geschrieben worden als Seiten über diese Grenzfragen, die mit unseren gegenwärtigen Hilfsmitteln sicher nicht und wahrscheinlich überhaupt niemals endgültig zu entscheiden sein werden. Manche Autoren haben

geglaubt, solchen — übrigens meist recht unbeständigen und gewöhnlich ziemlich schwierig feststellbaren — Merkmalen bei der Art-Beschreibung besonders großen Wert beilegen zu müssen. Z. B. figuriert eine Milchsäurebakterie in der Literatur unter der unbestimmten und überdies oft gar nicht zutreffenden Bezeichnung „Körnchenbazillus“.

Wer sich für diese zytologischen Fragen näher interessiert, sei auf die betreffenden Abschnitte in den folgenden Werken verwiesen: A. FISCHER, Vorlesungen über Bakterien; LAFAR, Handbuch der technischen Mykologie, Bd. I; KRUSE, Allgemeine Mikrobiologie; A. MEYER, Die Zelle der Bakterien; W. BENECKE, Bau und Leben der Bakterien. Die oft sehr erhebliche Divergenz der Meinungen ist natürlich zunächst in der Sache selbst begründet; sicher ist der innere Bau der Bakterienzelle durchaus nicht bei allen Arten der gleiche. Außerdem aber sind die verschiedenartigen Resultate und die daraufhin formulierten Ansichten ebenso sicher zu einem sehr großen Teile durchaus abhängig von den jeweils benutzten Untersuchungsmethoden. Die angewandten Färbeverfahren führen leicht zu Kunstprodukten und infolgedessen zu Täuschungen. Neben der Beobachtung im lebenden Zustande, in dem übrigens ebenfalls schon die Anwendung bestimmter Tinktionen möglich ist, scheint auch die Einbettung der Bakterien in Tusche manche weiteren Einblicke erschließen zu können¹⁾. Die Heranziehung der Ultramikroskopie hat dagegen keine Fortschritte gebracht²⁾; es liegt ja im Wesen dieser Methode selbst, daß das Auge nur wenig bestimmte Lichteindrücke, nicht dagegen klare Bilder empfängt³⁾.

Die in einigen der auf Tafel I (als Nr. 16) dargestellten Protozoen sichtbaren kurzstäbchenförmigen Einschlüsse sind Bakterien, die diesen Tierchen zur Nahrung dienen. Wir werden später hören, daß die Protozoen als Bakterienfresser in verschiedener Hinsicht, speziell auch für den Landwirt von Wichtigkeit sind. Nicht selten sind in den Protozoen auch pulsierende Vakuolen vorhanden, die bei der mikroskopischen Betrachtung sofort das Auge auf sich lenken.

Bei den Hefen und Schimmelpilzen nehmen nicht selten allerhand Zelleinschlüsse (Reservestoffe usw.) sowie Hohlräume einen großen Teil des innerhalb der Zellwand verfügbaren Raumes für sich in Anspruch. Dagegen ist die Bakterienzelle fast ausnahmslos von dem Protoplasma vollkommen ausgefüllt. Diese Tatsache ist von nicht zu unterschätzender Bedeutung. Wie wir wissen, besitzen die Bakterien infolge ihrer Winzigkeit eine auffallend große Oberfläche. Hinter dieser befindet sich aber nun fast allein die zu lebhaftester Tätigkeit befähigte protoplasmatische Substanz. Da sind keine am Stoffwechsel überhaupt nicht oder nur indirekt mitwirkende Teile vorhanden, deren jeder höhere Organismus in so ausgedehntem Maße bedarf. Jede Bakterie ist in ihrer Gesamtheit ein zu intensivster Leistung disponiertes Zentrum vitaler Energie.

Treten Konzentrations-Änderungen im Substrat auf, so können diese wie bei den Zellen höherer Pflanzen so auch bei den Bakterien zu charakteristischen Schrumpfungen

¹⁾ SANGIORGI, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Origin., Bd. 55, 1910, S. 94 m. Photogr.

²⁾ A. MEYER, Archiv für Protistenkunde, Bd. 24, 1912, S. 76.

³⁾ Vergl. die interessanten Photogramme in einer Arbeit von C. SIEBERT in v. BEHRINGS Beiträgen z. experiment. Therapie, Bd. 10, 1905, S. 55.

oder sonstigen Deformierungen Veranlassung geben¹⁾). Das Protoplasma löst sich bei äußerem Überdruck bei manchen (nicht bei allen) Bakterienarten von der Membran los und ballt sich im Innern der Zelle zusammen. Neben diesem, gewöhnlich als Plasmolyse bezeichneten Vorgang ist bei den Bakterien auch eine sogen. Plasmoptyse nicht allzu selten²⁾. Diese tritt ein, wenn ein starker Überdruck im Innern herrscht; die Zellwand reißt, das Protoplasma wird herausgeschleudert und rundet sich hier zu einer Kugel ab, die sich eventuell von neuem mit einer Haut umkleidet. Gewisse Substanzen scheinen diesen Vorgang zu begünstigen, was vielleicht für die Bekämpfung mancher krankheits-erregender Bakterien von Wichtigkeit werden könnte³⁾.

Beweglichkeit. Die Bakterien sind teils beweglich, teils unbeweglich. Bei den Hefen und Schimmelpilzen fehlt (abgesehen von dem Vorwärtswachsen der Pilzfäden) jede aktive Bewegung. Bei den Protozoen ist — soweit es sich nicht gerade um Ruhezustände handelt — Beweglichkeit allgemein vorhanden. Auch die an sich unbeweglichen Bakterien verharren indessen, wenn man sie in einem Flüssigkeits-Tröpfchen zu Gesicht bekommt, durchaus nicht immer vollkommen regungslos an ihrem Platze. Vielmehr befinden sie sich oft in einer passiven, schwingenden und tanzenden Bewegung, wie man das auch an anderen, unbelebten kleinsten Körperchen, z. B. an Tusche-Partikeln, wahrnehmen kann. Die Anstöße hierzu werden durch die sogen. BROWNSche Molekular-Bewegung gegeben, welche die Flüssigkeits-Teilchen in dauernder Bewegung hält. Handelt es sich um lebhaft bewegliche Formen, so ist ein Irrtum so gut wie ausgeschlossen. In anderen Fällen ist die Entscheidung allerdings nicht immer leicht, und man begegnet infolgedessen in der Literatur nicht allzu selten unbestimmten oder irrgen Angaben. Natürlich ist sowohl bei den Protozoen wie bei den an sich beweglichen Bakterien ebenfalls nicht ausnahmslos und ununterbrochen Beweglichkeit vorhanden. Am lebhaftesten pflegt sie in jungen Kulturen zu sein; altgewordene Bakterien setzen sich gern zur Ruhe — tout comme chez nous!

Die Umwandlung einer beweglichen in eine konstant unbewegliche Bakterienform ist mehrfach beobachtet worden. Seltener gelang es, einer bis dahin unbeweglichen Art aktive Beweglichkeit anzuzüchten⁴⁾. Nach der Ansicht einiger Autoren wäre dies allerdings mit genügender Ausdauer bei sämtlichen Bakterien zu erreichen⁵⁾. Diese Frage bedarf indessen noch weiterer Klärung.

¹⁾ Vgl. die in der 1. Vorlesung erwähnten, historisch interessanten Beobachtungen EDM. KINGS.

²⁾ Bei der Plasmolyse handelt es sich also nicht um eine Auf- sondern um eine Ablösung des Protoplasmas. Der Ausdruck Plasmoptyse ist unter Verwendung des Wortes πτύσσειν = ausspucken, auswerfen, gebildet worden. Am eingehendsten hat sich mit diesen Vorgängen ALFRED FISCHER beschäftigt, vgl. speziell dessen „Vorlesungen über Bakterien“.

³⁾ J. SCHUSTER, Berichte d. Deutsch. Botan. Gesellsch., Bd. 28, 1910, S. 488.

⁴⁾ ZIERLER, Archiv f. Hygiene, Bd. 34, 1899, S. 192.

⁵⁾ ELLIS, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Origin., Bd. 33, 1902, S. 1, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 9, 1902, S. 546, Bd. 11, 1903, S. 241.

Viele Bakterien begnügen sich, wie der Mensch, damit, in der Sekunde eine dem 1—1 $\frac{1}{2}$ fachen der eigenen Körperlänge gleichkommende Strecke zurückzulegen. Dagegen sind einige Arten befähigt, in der gleichen Zeit unter günstigen Bedingungen das 5 bis 15 fache dieser Entfernung zu durchheilen. Doch auch diese Geschwindigkeit steht noch beträchtlich hinter der von schnell fliegenden Vögeln erreichten zurück, die etwa als das 50fache der eigenen Größe angenommen werden kann¹⁾). — Stehen der Fortbewegung Schwierigkeiten entgegen, so wird die Schnelligkeit selbstverständlich umso kleiner, je größer die Hemmung ist. Z. B. ergaben sich weit niedrigere Werte, wenn statt der in Wasser die auf feuchtem Papier von den Bakterien zurückgelegte Strecke gemessen wurde²⁾.

Auch die Art der Bewegung wechselt bei den Bakterien sehr. Manche Arten schwimmen schnurgerade vorwärts und rückwärts; andere winden sich wie die Schlangen, wieder andere führen wackelnde oder kreiselnde Bewegung aus. Kurze Stäbchen überschlagen sich nicht selten in der Flüssigkeit, so daß sie, von oben gesehen, vorübergehend eine kugelförmige Gestalt anzunehmen scheinen. Zarte schraubenförmige Gebilde wirbeln wie Schiffsschrauben durch das Gesichtsfeld dahin. Noch unterhaltender wird der Anblick, wenn sich allerhand Protozoen munter zwischen den Bakterien umhertummeln und auf sie Jagd machen.

Der oft mißbrauchte Kinematograph ist auch bereits zur bildlichen Fixierung und Wiedergabe dieser Erscheinungen benutzt worden³⁾.

Als Bewegungsorgane fungieren bei den Bakterien, ähnlich wie z. B. bei den Schwärmern niederer Algen, meist äußerst zarte, haarartige Gebilde, sogen. Geißeln. Bei manchen Bakterien hat man indessen bisher keine Geißeln nachweisen können; eine undulierende Membran scheint sie in den Stand zu setzen, sich schlängelnd oder eigenartig oscillierend vorwärts zu bewegen. Übrigens ist es noch fraglich, ob die betreffenden Formen überhaupt mit Recht zu den Bakterien gestellt worden sind.

Auch manche Protozoen bewegen sich mittels einer oder mehrerer Geißeln; andere besitzen ein den ganzen Körper überziehendes Wimperkleid; und wieder andere, es sind das die bekannten Amoeben, senden Plasmafortsätze, sogen. Pseudopodien aus, mit denen sie sich auf der Unterlage festheften, um dann den Körper kriechend nachzuziehen.

Wegen ihrer außerordentlichen Zartheit können die Bakteriengeißeln im allgemeinen — soweit es sich nicht um ungewöhnlich große

¹⁾ K. B. LEHMANN und E. FRIED, Archiv f. Hyg., Bd. 46, 1903, S. 311.

²⁾ GABRITSCHEWSKY fand (Zeitschr. f. Hygiene, Bd. 35, 1900, S. 104) nach dieser Methode auch bei an sich sehr raschbeweglichen Bakterien nur ein Vorrücken um ca. 1 μ pro Sekunde. Damit stimmen die Resultate von LIACHOWETZKY (Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Origin., Bd. 57, 1910, S. 180). Auch in einer 1%igen Salpeterlösung war die Geschwindigkeit nur gering, s. STIGELL, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Origin., Bd. 45, 1908, S. 289.

³⁾ J. COMANDON, Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 149, 1909, S. 938.

Formen handelt — nur mit Hilfe besonderer Beiz- und Färbungsmethoden sichtbar gemacht werden. Teils sind sie einzeln, teils zu mehreren an einem oder an beiden Enden des Zell-Leibes angeheftet; nicht selten finden sie sich aber außerdem auch an den Längsseiten der Stäbchen in geringerer oder größerer Zahl (vgl. Taf. II, Fig. 5—8). Im erstenen Falle spricht man gewöhnlich von polarer oder cephalotricher (genauer auch von monotricher und lophotricher), im letzteren Falle von peritricher Begeißelung¹⁾). Die Anordnung der Geißeln ist zwar ziemlich aber nicht vollkommen konstant.

So ist Azotobakter, wenn es in Stäbchenform wächst, peritrich, in Kokkenform aber polar begeißelt²⁾). Mit den Knöllchenbakterien verhält es sich möglicherweise ebenso. Besonders die zeitweise auftretenden sehr kleinen, fast kuglichen „Schwärmer“ sollen polar begeißelt sein, dagegen ist die Stäbchenform sicher peritrich³⁾.

Schon zu Lebzeiten lösen sich die Geißeln mitunter von den Bakterien ab und verflechten sich zu langen Geißelzöpfen, die wie Spirillen oder Spirochaeten erscheinen können und schon mehrfach zu Täuschungen Veranlassung gaben⁴⁾). Sehr leicht werden sie beim Absterben der Bakterien abgeworfen; ein gutes Geißelpräparat herzustellen ist deshalb oft eine große Geduldsprobe⁵⁾.

Die Beweglichkeit begünstigt naturgemäß die Verbreitung der Bakterien und erhöht dadurch deren Leistungsfähigkeit. Die im lagernden Dünger, in der Ackererde und an anderen Stellen vorhandenen aktiv beweglichen Formen können rasch die Stellen aufsuchen, an denen sich zersetzungsfähiges, ihnen zusagendes Material vorfindet. Auch die scheinbar trockene Ackererde enthält, wie wir weiterhin sehen werden, immer noch genügend Feuchtigkeit, um den beweglichen Bakterien ein flottes Vorwärtskommen zu ermöglichen. Man hat z. B. festgestellt, daß die Knöllchenbakterien täglich in gerader Linie gemessen einen Weg von 1 cm Länge im Boden zurücklegen können⁶⁾). Diese Entfernung würde etwa dem 7000fachen der eigenen Körpergröße entsprechen. Da aber natürlich zahlreiche Hindernisse umschwommen werden müssen, so ist die tatsächlich zurückgelegte Strecke zweifellos noch weit größer.

¹⁾ κεφαλή = Kopf, τρίχες = Haare, λόφος = Haarschopf.

²⁾ PRAZMOWSKI, Bulletin internat. de l'Acad. de Cracovie, Classe des sciences math. et nat. [Sér. B] 1912, p. 136.

³⁾ BEIJERINCK, Botan. Zeitung, Bd. 46, 1888, S. 743; ZIPFEL, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 33, 1911, S. 110; K. F. KELLERMAN, ebenda, Bd. 34, 1912, S. 46.

⁴⁾ Vgl. M. WOLFF, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 18, 1907, S. 448; ZETTNOW, Zeitschr. f. Hygiene, Bd. 58, 1908, S. 386; O. JENSEN, Revue générale du lait, T. 8, 1910, p. 413.

⁵⁾ Bei Anwendung der Dunkelfeld-Beleuchtung kann man die Geißeln eventuell auch an den ungefärbten Bakterien zu Gesicht bekommen, vgl. K. REICHERT, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Orig., Bd. 51, 1909, S. 14.

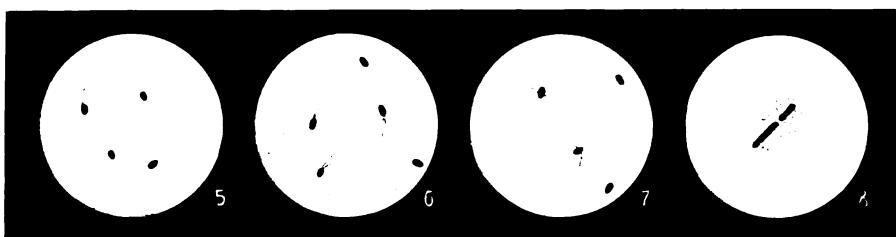
⁶⁾ BALL, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 23, 1909, S. 47.

Tafel II.



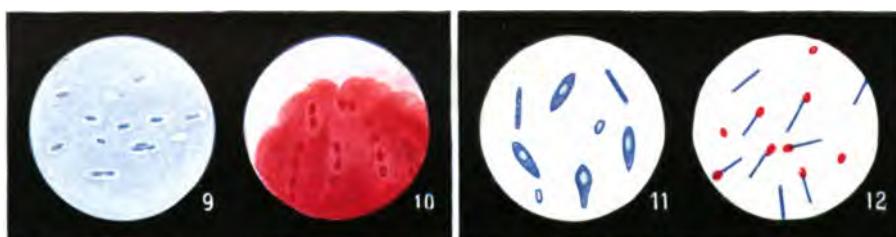
1-4: **Abnorme Wuchsformen**, mit Fuchsin gefärbt, 1000-fach vergr.

1. *Bact. casei*, 2. *Bact. radicicola*, 3. u. 4. *Bac. Malabarensis*,
alte Kultur. aus Wurzelknöllchen. in Zuckerlösung. auf Kartoffel.



5-8: **Bakterien mit Geisseln**, behandelt nach Ermengem, 1000-fach vergr.

5. Nitrit- 6. *Bacterium* 7. *Bacterium* 8. *Bact. vulgare*
Bakterien. *fluorescens*. *radicicola*. (*Proteus*).



9-10: **Bakterien mit Schleimhüllen**,
gefärbt, 1000-fach vergr.

9. Knöllchen-Bakterien. 10. *Leuconostoc*.

11-12: **Bakterien mit Sporen**,
gefärbt, 1000-fach vergr.

11. *B. amylobacter*. 12. *B. putrificus*.



13-16: **Spross- u. Schimmelpilze mit Sporen**, lebend, 600- resp. 300-fach vergr.

13. Hefe mit Sporen. 14. *Mucor*, 15. *Aspergillus*, 16. *Penicillium*,
600-fach vergr. 300-fach vergr. 300-fach vergr. 300-fach vergr.

Mano U

3. Vorlesung.

Entwicklung der Mikroorganismen: Vermehrung und Koloniebildung. — Dauerformen (Sporen). — Systematik.

Vermehrung der Mikroorganismen. Für die Vermehrung der Bakterien ist die Zellteilung charakteristisch. Daher der Name Spaltpilze oder Schizomyzeten¹⁾). Die Teilung erfolgt entweder vor oder nach der Streckung der Einzelzelle. Der erste Fall ist besonders bei den Kokken nicht selten. Es entstehen so die uns bekannten eigentlich scheibenartigen Gebilde (Taf. I, Nr. 3). Erst Streckung, dann Teilung ist die Regel bei den Stäbchenformen (vgl. Tafel I, Nr. 7 u. 8). Meist teilen sich die Zellen nur nach einer Richtung; dies führt eventuell zur Kettenbildung (Taf. I, Nr. 2, 3, 7, 8 und 9). Einer zweidimensionalen Teilung (nach Länge und Breite) begegnet man fast nur bei den Kokken, die dann oft zu vieren als „Tetrade“ vereint auftreten (Taf. I, Nr. 1). Und schließlich ergibt sich als Resultat einer dreidimensionalen Teilung die Sarcina-Form (Taf. I, Nr. 4).

Diese höchst einfache Art der Zellvermehrung ist allerdings durchaus nicht etwa auf die Bakterien beschränkt. Auch in den wachsenden Teilen höherer Pflanzen treffen wir auf ganz analoge Vorgänge. Eigenartig ist aber die ungemein rasche Aufeinanderfolge der neu entstehenden Bakterien-Generationen. Unter günstigen Bedingungen findet etwa alle 30 Minuten Teilung, d. h. Verdoppelung statt. Was das bedeutet, lehrt folgendes Schema:

Aus einer einzigen Bakterienzelle werden (bei Ausschluß jeder Störung):

nach 1 Stunde	4 Bakterien
„ 2 Stunden	16 „
„ 3 „	64 „
„ 8 „	65536 „ (rund 60000)
„ 15 „	1000 Millionen „ = rund 1 cmm
„ 23 „	65000 „ = 65 ccm
„ 35 „	1000 Millionen „ = 1000 cbm.

Zum Transport dieser in $1\frac{1}{2}$ Tagen gebildeten Bakterienmasse wäre ein aus 100 Waggons bestehender Güterzug nötig.

¹⁾ Abgeleitet von σχίζειν = spalten und μύκης = Pilz.

In Wirklichkeit stellen sich dieser exorbitanten Vermehrung natürlich recht bald unübersteigliche Schranken entgegen. Unser Schema soll uns ja auch nur deutlich vor Augen führen, welche erstaunliche Vermehrungs-Möglichkeiten diesen, in ihrer Vereinzelung so sehr unscheinbaren Bakterienzellen eigentlich sind. Nahrungsmangel sowie die schädliche Wirkung der eigenen Stoffwechselprodukte sind es, die in erster Linie hemmend wirken. Immerhin kann die Vermehrung in den ersten Stunden, solange die Wachstums-Bedingungen günstig bleiben, tatsächlich in dem angegebenen Tempo fortschreiten.

Das lehrt die folgende Untersuchung¹⁾: Milch, in der man zunächst sämtliche Keime durch längeres Erhitzen abgetötet hatte, wurde mit einer geringen, genau auszählten Bakterienmenge geimpft. Der nun vorhandene Keimgehalt wuchs in

	2	3	4	5	6 Stunden
bei 12,5 ° C um das	4-	6-	8-	26-	435fache
„ 36 ° C „ „	23-	60-	215-	1830-	3800fache

Einer alle 30 Minuten stattfindenden Verdoppelung entspräche eine Vermehrung um das

16-	64-	256-	1024-	4096fache
-----	-----	------	-------	-----------

Die berechneten und die bei 36 ° C tatsächlich festgestellten Vermehrungs-Geschwindigkeiten stimmen nahezu überein²⁾. Diese Zahlen zeigen uns zugleich, mit welchem immensen Bakterienwachstum in warm gehaltener Milch wir unter Umständen rechnen müssen.

Dem rapiden Anstieg folgt sehr oft, wie ich hier schon andeuten will, ein ebenso plötzlicher Abfall. Z. B. fand BUDINOW³⁾ in Milch (bei 30 ° C) folgende Zahlen (in Millionen pro ccm):

Anfangs	nach 3	6	12	18	24 Stunden
0,37	12,75	226	8070	32243	2286

Bei Pilzen und Protozoen ist Wachstum und Vermehrung zwar weniger lebhaft, dafür aber auch anhaltender als bei den Bakterien.

Ob sich die Bakterien außer durch Zellteilung noch auf anderen Wegen vermehren können, ist vorläufig ungewiß. Man hat mehrfach beobachtet — manchmal allerdings wohl auch nur geglaubt, beobachtet zu haben — daß im Innern der Zelle mehrere sehr kleine rundliche Gebilde entstehen können, die nach dem Zerfall der „Mutterzelle“, mitunter aber auch schon in ihr, sich wieder in Bakterien normaler Form verwandeln⁴⁾. Mit den noch zu besprechenden Bakterien-Sporen können diese „Regenerationsformen“ jedenfalls nicht ohne weiteres in eine Linie gestellt werden. Namentlich die von PRAZMOWSKI an Azotobakter durchgeführten Untersuchungen haben das erwiesen. Wie gesagt, entstehen die noch wenig bekannten Gebilde zu mehreren in

¹⁾ CXOPF, Centralbl. f. Bakt., Bd. 6, 1889, S. 553.

²⁾ Die nach 5 Stunden vorhandene Differenz ist sehr wahrscheinlich einem (leicht möglichen) Zählungsfehler zur Last zu schreiben.

³⁾ Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 34, 1912, S. 177.

⁴⁾ A. P. FOKKER, Centralbl. f. Bakt. I. Abt., Referate Bd. 33, 1903, S. 1; W. KUNTZE, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 13, 1904, S. 8; FUHREMANN, Verhandl. d. Gesellsch. deutscher Naturforscher u. Ärzte, 78. Vers. (Stuttgart) 1906, II, 1 S. 278; PRAZMOWSKI, Bulletin intern. de l'Acad. de Cracovie, Classe des sciences math. et. nat. [Ser. B] 1912. S. 145. Auch der von ALMQVIST (Centralbl. f. Bakt. I. Abt., Origin., Bd. 37. 1904, S. 18) als „Conidien“ beschriebenen Gebilde ist hier zu gedenken.

einer Zelle. Trotzdem liegt aber ihre physiologische Bedeutung wohl sicherlich mehr darin, daß sie für die Erhaltung der Existenz, nicht so sehr dagegen für die Vermehrung der Bakterien sorgen. — Auch über angebliche primitive Sexualprozesse wurde, allerdings nur ganz vereinzelt berichtet¹⁾.

Gelegentlich hat man als etwas besonderes, als „Gonidienbildung“ oder unter anderen Namen, einen Vorgang bezeichnet, der manchen regelmäßig in Fadenform wachsenden Bakterien eigentlich ist²⁾. Es handelt sich um eine Abgliederung kleiner rundlicher oder kurzstäbchenförmiger Gebilde. Im Prinzip liegt also ebenfalls nur Zellteilung vor. Auch die normalen Stäbchenformen wachsen ja nicht selten zu Fäden aus; erst nachdem sich dann nachträglich die Scheidewände gebildet haben, erfolgt der Zerfall in kürzere Glieder.

Bei den Hefen und den Schimmelpilzen gründet sich die Vermehrung z. T. ebenfalls auf einfache Teilung der bereits vorhandenen, eventuell zuvor in die Länge gewachsenen Zellen. Der „Oidien“-Bildung haben wir bereits gedacht (S. 17, Taf. I, Nr. 15). Besonders charakteristisch ist indessen für die Hefen die Vermehrung durch Sprossung. Aus einer voll entwickelten „Mutterzelle“ wachsen eine oder mehrere kleine „Tochterzellen“ hervor, die sich nach hinreichender Ausgestaltung in analoger Weise fortpflanzen können. Bleiben die verschiedenen Generationen aneinander hängen, so entsteht ein „Sproßverband“, wie wir ihn aus Abb. 7 bereits kennen. Eben wegen dieser Art der Vermehrung nennt man die Hefen ja auch allgemein „Sproßpilze“.

Außerdem aber bilden nun zwar nicht alle, jedoch eine recht ansehnliche Zahl von Sproßpilz- und Schimmelpilz-Arten besondere Zellen, sogen. „Sporen“, die sowohl der Vermehrung wie der Erhaltung der Art dienen. Bei den Hefen ist die Zahl der entstehenden Sporen relativ klein; dagegen produzieren manche Schimmelpilze viele Hunderte und Tausende von Sporen, die sich gewöhnlich bei der geringsten Erschütterung als feiner Staub in die Luft erheben. Infolge ihrer meist kugelrunden Form sind sie sehr gut auf das Schweben eingerichtet und können so auf das wirksamste beitragen zu der gelegentlich höchst unerwünschten, erstaunlich weitreichenden und raschen Ausbreitung dieser Pilze.

Die Stellen, an denen diese Sporen entstehen — die Sporeenträger und Sporangien — zeigen in der Regel eine besondere, typische Ausbildung, die für die Erkennung der Arten meist von hervorragender Wichtigkeit ist. Einige besonders charakteristische Formen sind auf Tafel II als Fig. 13—16 zur Darstellung gebracht.

Auf die zahlreichen Einzelheiten und Verschiedenartigkeiten, die bei der Ausbildung der Pilzsporen eine mehr oder minder wichtige Rolle spielen, kann ich hier nicht ausführlich eingehen. Wer näheres wissen will, sei außer auf die botanischen Lehrbücher auf die betreffenden Teile im I. und IV. Bande von LAFARS „Handbuch der

¹⁾ F. FÖRSTER, Centralbl. f. Bakt. B. 11, 1892, S. 257; FOKKER a. a. O.

²⁾ Vgl. MIGULA, System der Bakterien, Bd. I, 1897, S. 202.

technischen Mykologie“ verwiesen. Nur darauf sei aufmerksam gemacht, daß die Sporen entweder, z. B. bei den Hefen und bei der unter dem Namen *Mucor* bekannten Schimmelpilzart (Taf. II, Nr. 13 und 14) im Innern der als Sporangium fungierenden Zelle („endogen“) entstehen, oder daß sie als „Konidien“ am Ende der Fruchträger („exogen“) abgegliedert werden. Die sehr verbreiteten, z. T. auch landwirtschaftlich sehr wichtigen *Aspergillus*- und *Penicillium*-Arten (Taf. II, Nr. 15 und 16) sind die bekanntesten Beispiele für diese Art der Sporenbildung. Allerdings treten auch bei diesen Pilzen Sporangien in Form kugeliger „Peritheien“ auf. Indessen sind diese Gebilde weit weniger häufig und für die Vermehrung nicht von der hohen Bedeutung, die der Konidien-Fruktifikation beigemessen werden muß.

Sowohl bei Hefen wie bei manchen Schimmelpilzen kommen primitive sexuelle Prozesse vor, die aber für uns kaum irgendwelche Bedeutung haben.

Die Protozoen vermehren sich durch Quer- und Längsteilung, durch Knospung sowie durch Zerfall in mehrere bis viele, als Sporen oder Sporozoiten bezeichnete Teilstücke. In manchen Fällen haben diese Sporozoiten zwar auch den Charakter der Dauerform; die Hauptrolle spielen sie aber als Vermehrungsorgane. Sie sind, wie die ausgewachsenen Tiere, amöboid durch Geißeln oder durch Wimpern beweglich.

Sexuelle Prozesse treten bei den Protozoen stärker hervor. Entweder handelt es sich um wirkliche Verschmelzung (Kopulation) oder nur um den Austausch von Zellbestandteilen durch zu diesem Zwecke hergestellte Plasmaverbindungen (Konjugation).

Kolonie-Bildung. Haben sich die Mikroorganismen in oder auf irgend einem Substrat reichlich vermehrt, so kann auch das unbewaffnete Auge sich nicht selten von ihrer Anwesenheit überzeugen. Vorher klare Flüssigkeiten werden trübe, saurer Rahm, Käse, Brot u. dgl. erhalten schleimige oder aus feinsten Fäden bestehende Überzüge. Sorgen wir dafür, daß die von Bakterien erfüllte Flüssigkeit vor jeder Erschütterung bewahrt bleibt, so können wir zwar nicht immer, aber doch oft die Beobachtung machen, daß sich die Bakterien an bestimmten Stellen ansammeln und hier bald derbere, bald zartere Hämpe bilden. Besonders eigenartige Erscheinungen treten dann auf, wenn wir irgend welche schwer löslichen, zersetzbaren Substanzen, z. B. Pflanzenreste enthaltenden Schlamm, Bohnen, Erbsen u. dgl.) mit Wasser übergießen. Die zersetzbaren Bestandteile diffundieren z. T. in die Flüssigkeit, und die Bakterien sammeln sich an denjenigen Stellen an, wo sie genügend Nahrung, zugleich aber auch hinreichende Mengen Sauerstoff zur Atmung vorfinden. Die so entstehenden Ansammlungen nennt man Bakterien-niveaux oder Bakterienplatten¹⁾. Welch eigenartigen Anblick sie gewähren, zeigt das auf der linken Seite der Tafel IX abgebildete mit Schlamm und Wasser gefüllte Glas, in dessen Mitte eine solche Platte

¹⁾ Die Bezeichnung „Bakterien-Niveau“ stammt von BEIJERINCK (Centralbl. f. Bakt., Bd. 14, 1893, S. 827), „Bakterien-Platte“ von JEGUNOW (Centralbl. für Bakt., II. Abt., Bd. 2, 1896, S. 13). Vgl. auch K. B. LEHMANN und CURCHOD, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 14, 1905, S. 449.

von Schwefelbakterien schwiebt. In der 13. Vorlesung werde ich noch einige Erläuterungen hierzu geben.

Mitunter kann die Ansammlung in der Flüssigkeit noch weiter gehen. Die Bakterien können eine regelmäßige Gruppierung annehmen, für deren Zusammenhalt dann eventuell eine gemeinsame Schleimhülle sorgt¹⁾.

Auf festen Substraten sind diese lokalen Ansammlungen das Normale. Man nennt sie hier allgemein Kolonien. Schimmelpilz-Kolonien sind uns vom verschimmelten Brot, von Brie-, Camembert-Käse usw. zur Genüge bekannt. Wie wir noch sehen werden, sind aber auch die Bakterien im Innern der Käse vorwiegend in Kolonien vereint. Daß im Dünger und im Boden derartige Bakterien-Gesellschaften ebenfalls eine große Rolle spielen müssen, bedingt hier schon die ungleichmäßige Verteilung der Bakterien-Nahrung. Im täglichen Leben hat man nicht allzu oft Gelegenheit, mit Bakterienkolonien Bekanntschaft zu machen. Manche Käsefehler können hierzu Gelegenheit geben; häufiger ist dies aber der Fall bei den besonders während der warmen Jahreszeit ziemlich leicht verderbenden Fischkonserven (Hering, Aal usw.) „in Gelee“. Die klare Gallerte enthält dann kleine, hirsekorngroße, weißgelbliche Gebilde; das sind die Kolonien der die Fäulnis einleitenden Bakterien. Im bakteriologischen Laboratorium werden solche durchsichtige, in der Wärme flüssige, bei Zimmertemperatur feste Nährböden vielfach verwendet. Entweder versetzen wir die in der Küche häufig gebrauchte Speise-Gelatine oder irgendwelche andere, gelatinierende Substanz mit den geeigneten Nährstoffen und lassen dann die zufällig oder absichtlich dem Substrat beigemengten Keime zur Entwicklung kommen.

Fig. 1 auf Tafel III zeigt uns in $\frac{2}{3}$ der natürlichen Größe das Bild einer (gewöhnlich als „PETRI-Schale“ bezeichneten) gläsernen Doppelschale, deren Boden eine mit Bakterien- und Pilzkolonien übersäte Gelatineschicht bedeckt. Die feinfädigen Pilz-Kolonien, deren eine von den bekannten, grauen, staubartigen Sporen-Massen überdeckt ist, lassen sich leicht von den kompakteren, mehr oder minder scharfrandigen, weißen, grauen oder gelben Bakterien-Kolonien unterscheiden, die z. T. eine grüne oder braune Verfärbung der Gelatine veranlaßt haben. Mehrere Bakterien-Kolonien haben die Gelatine in ihrer nächsten Umgebung aufgelöst und liegen infolgedessen in Ver-

¹⁾ A. MEYER, Flora, Bd. 84, 1897, S. 189; HEFFERAN, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 8, 1902, S. 689; M. JONES, ebenda, Bd. 14, 1905, S. 459; MÜLLER-THURGAU, ebenda, Bd. 20, 1908, S. 353, 449 m. Photogr. („Bakterienblasen“). Möglicherweise handelte es sich um derartige Gebilde auch bei den riesigen Bakterien-Ansammlungen in westindischen Gebirgsseen, von denen MORTENSEN berichtete (Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 26, 1910, S. 82).

flüssigungs-Schalen eingebettet. Einige kleine, weißgelbliche, in der Gelatine liegende „Tiefen-Kolonien“ sind (wie im verdorbenen Herings-Gelee) ebenfalls sichtbar. Hefen-Kolonien erscheinen dem bloßen Auge fast immer wie Bakterien-Kolonien. Z. B. ist die kleine, runde, rötliche Kolonie vorn rechts eine Hefen-Kolonie. Nehmen wir das Mikroskop zu Hilfe, so erweisen sich allerdings derartige Kolonien schon bei relativ schwacher Vergrößerung als aus Hefezellen zusammengesetzt, die besonders am Rande in Form einer kräftigen Granulierung hervortreten (Taf. III, Fig. 4). Auch im übrigen gestattet natürlich die mikroskopische Betrachtung der Kolonien noch weit mehr Verschiedenheiten aufzufinden, als dies sonst möglich ist. Sowohl die Struktur der inneren Teile wie namentlich diejenige der Randpartien bietet äußerst mannigfaltige und oft sehr reizvolle Bilder dar (Taf. III, Fig. 2—5).

Um sich über die Lagerung der einzelnen Bakterien in der Kolonie einen Überblick zu verschaffen, kann man bei denjenigen Bakterien, welche die Gelatine nicht verflüssigen, in folgender Weise verfahren: Man legt auf die betreffende Kolonie ein Deckglas auf, drückt es nötigenfalls sanft an, hebt es vorsichtig wieder ab und färbt dann die als „Klatsch-Präparat“ daran haften gebliebenen Bakterien in der allgemein üblichen Weise, worüber in der 7. Vorlesung noch kurz zu sprechen sein wird. Auch diese Bilder sind sehr instruktiv und sehenswert¹⁾.

Beeinträchtigen die einzelnen Kolonien einander nicht in der Entwicklung, — was allerdings in dicht besäten Schalen die Regel ist, — so können auch die Bakterien-Kolonien ähnlich wie die Schimmelpilz-Wucherungen sehr ansehnliche Dimensionen erreichen. Fig. 6 auf Taf. III zeigt (in $\frac{1}{2}$ der natürl. Größe) einige Gläser (sog. „SOYKA-Flaschen“) mit nur je einer solchen Riesen-Kolonie.

Die Zonenbildung, wie sie die *Penicillium*-Kolonie zeigt, ist nichts etwa nur den Pilzen Charakteristisches; auch Bakterien-Kolonien weisen nicht gerade selten solche Zonenbildung auf. Infolge allerhand äußerer Einflüsse (Wärme, Licht usw.) geht das Wachstum an der Peripherie bald rascher bald langsamer vor sich. Das konzentrische Fortschreiten des Pilzwachstums ist übrigens auch die Ursache der Ausbreitung der sogen. „Hexenringe“ auf den Wiesen. Bekanntlich steht das ungleiche Wachstum des Grases an diesen Stellen mit der Entwicklung und dem Absterben von Fadenpilzen im Boden in ursächlichem Zusammenhange.

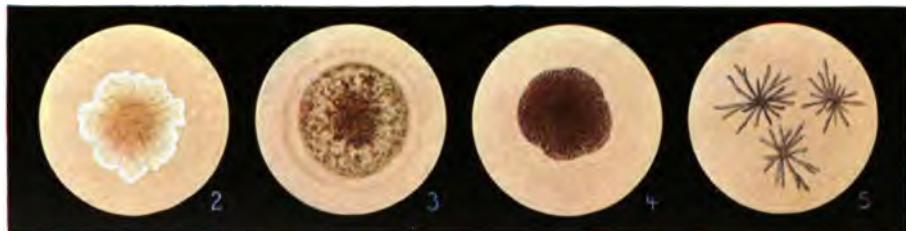
Ich brauche kaum besonders hervorzuheben, daß das Kolonie-Bild für die Erkennung der verschiedenen Mikroben-Arten von großer Bedeutung ist. Jedenfalls ist es im allgemeinen viel wichtiger als die Form der Einzelzellen, wenn es auch, genau wie diese, nicht als durchaus konstant angenommen werden darf. Differenzen in der Zusammensetzung des Nährbodens haben meist auch mehr oder minder große Änderungen der Kolonie-Form zur Folge. Dagegen ist das Wachstum auf demselben Substrat und bei sonst gleichen Außenbedingungen überraschend einheitlich und beständig. Das ist um so merkwürdiger, wenn

¹⁾ Vgl. die Photogramme von C. AXELRAD, Zeitschr. f. Hygiene, Bd. 44, 1903, S. 477.

Tafel III.



1. Petri-Schale mit Kolonien von Bakterien und Pilzen,
 $\frac{2}{3}$ nat. Grösse.



2-5: Mikroskopische Bilder von Bakterien- und von Pilz-Kolonien, 50-fach vergr.
2. Bact. coli. 3. Bact. fluorescens. 4. Rosa-Hefe. 5. Penicillium.



6. Riesen-Kolonien von Bakterien und von Pilzen in Sojka-Flaschen,
 $\frac{2}{3}$ nat. Grösse.

g beden-
sicht, V
ßen al-
er die
reisen i
legeln u
chen Ei
nzisat-
zeleilt
französe
Augen
Instan-
Neigung
Ztsach]

V
leben o
getragen
in den o
es vor,
Teile a
dann a
auch „
mäßig
bilden
mehr
herau-
Vors

die v

den
me
der
Ve
tu
Se
n
e
Y
l

M7oU

man bedenkt, daß es sich doch nur um Ansammlungen einzelliger Wesen handelt. Wie nach einem wohlgeordneten Plane lagern sich die Bakterien an- und übereinander. Die Bildung einer solchen Kolonie greift über die Autonomie der einzelnen Individuen hinaus. Wie Bienen, Ameisen und andere „Staaten“-bildende Organismen nach feststehenden Regeln und Gesetzen bei der Ausgestaltung und Erhaltung ihrer kunstvollen Einrichtungen verfahren, so waltet auch schon ein einheitliches, organisatorisches Prinzip in der heranwachsenden Bakterien-Kolonie und verleiht dieser ihr charakteristisches Gepräge. In den Kolonien der Protozoen fehlt dieses Moment; sie stellen regellose Ansammlungen dar. Dagegen sind die Sproßpilz- und Schimmelpilz-Kolonien wieder recht konstant und charakteristisch. Bei der bereits deutlich ausgeprägten Neigung dieser Organismen, größere Zellverbände zu bilden, ist diese Tatsache unschwer verständlich.

Wie ich schon andeutete, sind Oberflächen- und Tiefen-Kolonien der Bakterien oft recht verschieden. Bei dem Studium der Arten muß dem sorgfältig Rechnung getragen werden. Nicht selten ist auch die Ausbildung der einzelnen Individuen selbst in den obenauf oder im Substrat gelagerten Kolonien eine abweichende. Mitunter kommt es vor, daß in denjenigen Partien der Kolonien, in denen die Zellen bereits zum größten Teile abgestorben sind, von neuem eine lokale Entwicklung Platz greift. Es entstehen dann an verschiedenen Stellen des „primären“ Bakterienbelages „sekundäre“, selten auch „tertiäre“ Kolonien. Die ganze Ansammlung erscheint dann eigenartig unregelmäßig gefleckt. Häufiger wird allerdings die Erklärung für solche abnormalen Koloniebilder in Verunreinigungen zu suchen sein, die dadurch entstehen, daß sich zwei oder mehr verschiedene Keime an derselben Stelle entwickeln und zu „Misch-Kolonien“ heranwachsen. Wie immer bei bakteriologischen Arbeiten ist auch hier peinlichste Vorsicht und schärfste Kritik nie zu entbehren.

Wer genaueres über Bau und Struktur der Kolonien zu wissen wünscht, studiere die unten genannten Arbeiten¹⁾.

Bildung und Keimung der Sporen. Ich sagte vorhin, daß bei den Sproß- und Schimmelpilzen die Sporen sowohl für die Vermehrung wie für die Erhaltung der Art von Wichtigkeit sind. Bei den Protozoen fungieren die Sporen oder Sporozoiten fast nur als Vermehrungs-Organe. Im geraden Gegensatz hierzu liegt die Bedeutung der Bakterien-Sporen allein darin, daß sie Dauerformen sind. Soweit sie überhaupt gebildet werden, entstehen sie fast ausnahmslos nur in der Einzahl in jeder Zelle. Sehr selten wurden zwei Sporen in einem Stäbchen gefunden²⁾. Scheinbar eine ganze Sporen-Reihe enthaltende fadenförmige Bakterien lösen sich bei näherem Zusehen in kurze Glieder mit je einer Spore auf (Abb. 10). Viele Bakterien scheinen überhaupt keine Sporen zu bilden. Das gilt speziell für die Mehrzahl

¹⁾ H. B. HUTCHINSON, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 17, 1906/07, S. 65; FR. ORSÓS, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Orig., Bd. 54, 1910, S. 289.

²⁾ A. KOCH, Botanische Zeitung, Bd. 46, 1888, S. 277.

der krankheitserregenden Arten. Wir werden später sehen, daß diese Tatsache von großer praktischer Bedeutung ist. Ebenso sind allerdings auch die Ausnahmen von dieser Regel wohl im Gedächtnis zu behalten: die Erreger des Milzbrandes, des Wundstarrkrampfes, des Botulismus, des malignen Oedem und des Rauschbrandes bilden Sporen, und zwar speziell die Milzbrandbazillen solche von sehr großer Widerstandsfähigkeit. Dagegen sind ebenfalls sporenfrei: die Milchsäurebakterien, die Knöllchenbakterien und viele andere mehr.

Die Sporen werden entweder in der Mitte des Bakterienleibes gebildet oder sie sind dem einen Ende der Zelle genähert, oder schließlich: sie stehen vollkommen terminal (Taf. II, Fig. 11 u. 12). Charakteristische Beispiele für den ersten Typus liefern der Heubazillus (*Bacillus subtilis*) sowie der Milzbrandbazillus (*Bacillus anthracis*), für den zweiten der Buttersäurebazillus *Bacillus amylobacter* und für den dritten der sehr weit verbreitete Fäulnisbazillus *Bacillus putrificus*, der



Abb. 10. Heubazillen-Fäden mit Sporen (1000-fach vergr.).

morphologisch dem Wundstarrkrampf-Erreger vollkommen gleicht. Wie unsere Abbildungen zeigen, kann der sporenhaltige Bakterienkörper unter Umständen eine deutliche Auftriebung erleiden. Die Sporen selbst sind meist kugelig oder oval, selten stäbchenförmig. Ihre derbe Außenhaut ist in der Regel glatt; ausnahmsweise (beim *Bacillus asterosporus*) werden leistenartige Verdickungen sichtbar. Nachdem die Sporen voll ausgebildet sind, stirbt der übrige Teil der Bakterienzelle ab und löst sich allmählich auf. Im ungefärbten Zustande sind

die Sporen relativ leicht an ihrem hohen Lichtbrechungsvermögen kenntlich (Abb. 10); dabei dürfen wir freilich nicht vergessen, daß andere Zelleinschlüsse (z. B. Fett-Tröpfchen) ein ähnlich starkes Lichtbrechungsvermögen besitzen. Farbstoffe nehmen die Sporen (aber auch die Fett-Tropfen!) schwieriger an als der übrige Teil der Bakterienzelle, infolgedessen erscheinen sie in dem in gewöhnlicher Weise gefärbten Präparat nur schwach oder überhaupt nicht tingiert (Taf. II, Fig. 11). Besondere Spore-Färbungsmethoden ermöglichen es, Sporen und Bakterien in differenten Farben erscheinen zu lassen (Taf. II, Fig. 12). Die infolge Auftriebung entstandene Spindelform wird in der Literatur nicht selten als Clostridium, die an einen Paukenschlegel erinnernde Gestalt der Stäbchen mit „Köpfchensporen“ als Plectridium bezeichnet¹⁾. Die

¹⁾ Abgeleitet von δικλωστήρ = das gesponnene Knäuel, und von τικλίτηρον = der Schlegel (zum Anschlagen der Saiten beim Lyraspiel).

Formen sind indessen nicht konstant und die besonderen Namen durchaus entbehrlich.

Die Bildung der Bakterienspore vollzieht sich in folgender Weise: Zunächst verdichtet sich das Plasma an einer Stelle zur Sporenanlage, die im ungefärbten Präparat grau, im gefärbten besonders dunkel erscheint. Die Hülle, mit der sie sich dann umgibt, besteht aus zwei Schichten: dem Endo- und dem Ektosporium. Jenes wird beim Auskeimen der Spore zur Membran der Keimzelle, dagegen bleibt das Ektosporium in der Regel als leere Schale zurück. Die Schwerfärbbarkeit der Spore beruht sowohl auf dem geringen Wassergehalt des Sporenhinhalts wie auf der besonderen Struktur der Sporenhülle, namentlich des Endosporiums.

Das Vorkommen der Sporen ist, wie gesagt, nicht allgemein und auch nicht durchaus konstant. Am regelmässtigsten finden wir Sporen bei den großen Langstäbchen aus der Verwandtschaft des *Bac. subtilis*, *anthracis*, *amylobacter* und *putrificus*. Selten begegnet man ihnen bei Spirillen und Sarcinen. Bei den Mikro- und Streptokokken scheinen sie ganz zu fehlen. Indessen gibt es sowohl unter den sporenbildenden Bakterien wie Pilzarten natürlich auch sogen. „asporogene“ Rassen. Zuweilen nehmen diese bei der Weiterzüchtung sehr überhand; nur durch jedesmaliges Erhitzen der Kultur

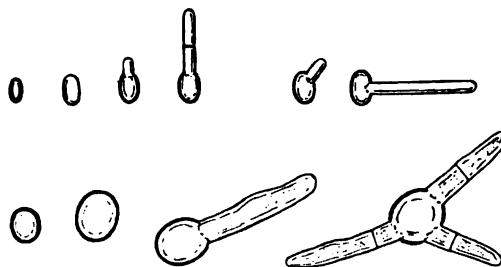


Abb. 11. Sporenkeimung bei Bakterien (obere Reihe) und bei Schimmelpilzen (untere Reihe). 1000fach vergrößert.

vor der Abimpfung können sie zurückgedrängt und so die Sporenbildung konstant erhalten werden').

Um die Sporen-Natur sicher festzustellen, ist es stets nötig, zu ermitteln, ob das fragliche Gebilde zur Keimung befähigt ist. All die zahlreichen, spezifischen Sporenfärbungsmethoden sind nicht unbedingt zuverlässig. Die meist recht erhebliche Resistenz gegen hohe Wärmegrade ist ebenfalls ein wichtiges Charakteristikum der Sporen. Entscheidend ist aber, wie gesagt, stets nur die Keimung. Meist ist der Verlauf hierbei der, daß die Spore zunächst aufquillt, ihr starkes Lichtbrechungsvermögen verliert, und dann nach einiger Zeit bei den Bakterien ein, bei den Pilzen eventuell mehrere Keime die Sporenhaut durchbrechen (Abb. 11).

Der Durchbruch des Keimstäbchens kann polar, schräg oder äquatorial erfolgen. Die Keimungsrichtung ist zwar ziemlich, aber doch nicht so konstant, daß sie ein be-

1) BEIJERINCK, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 4, 1898, S. 657 (Hefen), Bd. 7, 1901, S. 45 (Harnstoffbakterien).

sonders wichtiges diagnostisches Hilfsmittel darstellen könnte, wie man vereinzelt geglaubt hat¹⁾.

Seltener wird die Spore im ganzen zu einer neuen vegetativen Zelle von normaler Gestalt. Am häufigsten kann man diese Art der Keimung bei den sogen. Arthrosporen sehen²⁾. Während jene soeben besprochenen, schwer färbbaren und sehr resistenten Bakteriensporen im Innern der Zelle entstehen und deshalb auch Endosporen genannt werden, wandelt sich bei der Arthrosporen-Bildung die ganze Zelle resp. das betreffende „Glied“ im Zellverbande durch Verstärkung der Außenhaut in eine Dauerzelle um. Die Widerstandsfähigkeit dieser Gebilde ist nicht so außerordentlich groß, wie ich dies für die Bakterien-Endosporen noch nachzuweisen haben werde. Sie ist aber vorhanden, und da auch die Keimung dieser Gebilde mehrfach beobachtet wurde, so vermag ich die Ansicht jener Autoren nicht zu teilen, die das Vorkommen von Arthrosporen bei den Bakterien überhaupt in Abrede stellen.

Namentlich das für uns besonders interessante Azotobakter bildet auffällige, sehr derbwandige große Arthrosporen, die gewöhnlich zu drei oder vier zusammenliegen (Taf. I, Fig. 5). Für diese Gebilde ist auch die Keimung vollkommen sicher gestellt; sie verläuft hier sogar, wie es scheint in der Regel, unter Abstreifung der äußeren Hülle, also ganz nach der für die Endosporen typischen Art³⁾. Auch an anderen Bakterien, namentlich an den großen Langstäbchen aus der Verwandtschaft des Heu-Bazillus kann die Bildung und Keimung derartiger rundlicher Dauerzellen verhältnismäßig oft wahrgenommen werden⁴⁾.

Bei den Pilzen nennt man die in derselben Weise entstehenden und keimenden Dauerzellen entweder Gemmen oder Chlamydosporen⁵⁾. Die hier nicht gebräuchliche Bezeichnung Arthrosporen würde übrigens in diesem Falle besonders treffend sein; denn daß in der Tat „Glieder“ des Zellverbandes zu Sporen werden, ist nirgends so deutlich zu sehen als gerade hier. „Gommen“ nennt man diejenigen Dauerzellen, die bei der Keimung vegetatives Myzel liefern, während aus den Chlamydosporen direkt der Fruchtträger hervorkeimt.

Auch die Dauerform der Protozoen kommt in analoger Weise zu stande; es entstehen runde, derbwandige „Zysten“⁶⁾. Eine von ihnen ist uns von Tafel I (Fig. 16) her bekannt.

Systematik. Mit der Systematik der landwirtschaftlich wichtigen Mikroorganismen ist es vorläufig noch sehr schlecht bestellt. Nament-

¹⁾ Vgl. G. CASPARI, Archiv f. Hygiene, Bd. 42, 1902, S. 71.

²⁾ τὸ γρθρον = Glied.

³⁾ Vgl. auch PIKAZMOWSKI, Bull. intern. de l'Acad. de Cracovie [Sér. B], 1912, p. 121.

⁴⁾ A. MEYER, Berichte der deutsch. botan. Gesellschaft, Bd. 19, 1901, S. 428, ders., Die Zelle der Bakterien, 1912.

⁵⁾ gemma = die Knospe, ἡ χλαυδός = das Oberkleid.

⁶⁾ ἡ κύστις = die Blase.

lich hat fast jeder, der ein kleineres oder größeres Buch über Bakterien schrieb, sich verpflichtet gefühlt, ein neues System der Bakterien aufzustellen und möglichst alle bisher bekannten Arten umzetaufen. Es herrscht infolgedessen stellenweise ein derartiges systematisches Chaos, daß schon sehr viel Erfahrung erforderlich ist, um zu einem leidlich richtigen Ein- und Überblick zu gelangen. Ich will mich darauf beschränken, nur die einfachsten Grundlinien möglichst scharf zu markieren, so daß wenigstens eine einigermaßen zutreffende Orientierung gewährleistet ist. Wer sich tiefer in dieses schwierige Gebiet einarbeiten will, sei auf die unten genannten Werke verwiesen⁵⁾.

Drei Tatsachen müssen wir stets im Auge behalten:

1. Die Natur läßt nur Einzelwesen entstehen; alle Trennungen in Arten, Gattungen usw. sind lediglich Notbehelfe, die uns ein Zurechtfinden in der uns umgebenden Mannigfaltigkeit der Erscheinungen ermöglichen sollen.
2. Die Mikroorganismen und deren Eigenschaften sind uns erst teilweise bekannt; jede systematische Einordnung trägt deshalb notwendigerweise einen provisorischen Charakter.
3. Die Gesamtheit aller bisher bekannt gewordenen Eigenschaften, der gesamte „Habitus“, der Organismen muß bei deren Einteilung berücksichtigt werden; Systeme, die sich nur auf das Vorhandensein einzelner Merkmale gründen, können niemals einen zutreffenden Überblick gewähren.

Wenden wir uns zunächst den Bakterien zu, so müssen wir konstatieren, daß bisher die morphologischen Merkmale (Form, Beweglichkeit usw.) gewöhnlich allzu sehr in den Vordergrund gestellt worden sind. Als Reaktion gegen dieses Verfahren macht sich nun neuerdings eine, wie mir scheint, gleich unzutreffende Überschätzung der physiologischen Merkmale geltend. Man hat bereits versucht, einen Stammbaum der Mikroorganismen auf Grund ihrer chemischen Leistungen aufzustellen und diese Einteilung als „das“ natürliche System der Bakterien bezeichnet. Wie wir bereits wissen, sind die morphologischen Eigenschaften leider nicht selten recht wenig konstant. Kugelformen strecken sich zu kurzen Stäbchen, Stäbchen krümmen sich zu Schrauben oder runden sich zu Kugeln ab. Einmal ist Beweglichkeit vorhanden, das andere Mal nicht; und derselbe Organismus kann polar oder peritrich begeißelt sein. Wir werden uns aber bald davon überzeugen müssen, daß das physiologische Verhalten der Bakterien im allgemeinen noch weniger konstant ist. Dieselben Kulturen, die wir bei der einen Prüfung

⁵⁾ LAFARS Handbuch der technischen Mykologie, Bd. I und IV; LEHMANN und NEUMANN, Bakteriologische Diagnostik; MIGULA, System der Bakterien; LINDAU, Kryptogamenflora f. Anfänger.

als zur Harnstoffstoffzersetzung, zur Milchsäurebildung, zur Gelatineverflüssigung, zur Gasbildung u. a. m. befähigt fanden, können bis zur nächsten Untersuchung alle diese Merkmale verloren, bzw. gegen andere ausgetauscht haben.

Der Hauptgrund für diese im ersten Augenblick sehr erstaunliche Variabilität aller Eigenschaften ist naturgemäß vor allem darin zu erblicken, daß bei den Bakterien in relativ kurzer Zeit sehr viele Generationen einander folgen. Das Resultat ist: daß unter den sehr differenten Wachstumsbedingungen, unter denen die Bakterien im Laboratorium gehalten werden und z. T. gehalten werden müssen, nicht selten so tiefgreifende Änderungen des gesamten Charakterbildes wahrnehmbar werden, wie wir sie bei den höheren Organismen nur im Verlaufe sehr langer Zeiträume nachweisen können. Bedenken wir aber, welche erstaunlichen Umwandlungen durch Züchtung und Haltung bei unseren Haustieren und Nutzpflanzen erzielt worden sind, so werden wir uns auch eine ungefähre Vorstellung machen können, daß und weshalb die in Kultur genommenen Mikroorganismen recht oft und recht erheblich in ihren Eigenschaften wechseln. Klammert man sich indessen nicht an Einzelheiten, sondern beachtet man, wie ich es als notwendig hinstellte, stets den gesamten Habitus, so wird man sich auch durch sehr unerwartete Vorkommnisse nicht oder doch nicht allzu sehr auf Irrwege leiten lassen.

Für die erste Einteilung der Bakterien hat sich das folgende einfache Schema bereits seit Jahrzehnten und wohl am besten bewährt:

I. Zellen in der Regel kugelförmig, selten eine gestreckte Form annehmend	1. einzeln, zu zweien, vieren oder in regellosen Haufen, nie in Ketten <i>Micrococcus</i> 2. in kurzen oder längeren Ketten <i>Streptococcus</i> 3. in warenballen-ähnlichen Verbänden <i>Sarcina</i>
II. Zellen in der Regel stäbchenförmig, selten kugelig od. gekrümmt	
III. Zellen in der Regel schwach bis deutlich schraubenförmig gekrümmt	
I. Zellen in der Regel kugelförmig, selten eine gestreckte Form annehmend	1. ohne Endosporen <i>Bacterium</i>
	2. mit Endosporen <i>Bacillus</i>
III. Zellen in der Regel schwach bis deutlich schraubenförmig gekrümmt	1. Komma-Form <i>Vibrio</i>
	2. starre Schraubenform . . . <i>Spirillum</i>
	3. biegsame Schraubenform . <i>Spirochaete</i>

Wie ich bereits erwähnte, rechnen manche Forscher jetzt die (für uns überhaupt kaum in Betracht kommenden) Spirochaeten nicht mehr zu den Bakterien, sondern zu den Protozoen. Wir wissen ferner, daß

die Sporenbildung nicht ausschließlich bei den Stäbchenformen vorkommt; gerade hier bietet sie aber ein Trennungsmerkmal dar, daß diesen Teil der Bakterien in zwei, auch bei Berücksichtigung aller anderen Eigenschaften recht natürlich erscheinende, große Gruppen sondert. Bei dem Genus *Sarcina* darf man im Zweifel sein, ob es nicht besser ganz zu streichen wäre. Größtenteils kommen (abgesehen von der eigenartigen, aber wenig beständigen Wuchsform) die gleichen Eigenschaften, die wir bei den *Sarcinen* wahrnehmen können, auch bei den Mikrokokken vor. Einige *Sarcinen* scheinen dagegen Wuchsformen sporenbildender Bazillen zu sein. Wir würden demnach die Mehrzahl aller Bakterien in nur sechs Abteilungen unterbringen können. Einige besondere Gruppen (Schwefelbakterien, Eisenbakterien) wollen wir dagegen einstweilen zurückstellen, in der 13. Vorlesung werden wir mit ihnen, soweit als nötig, noch Bekanntschaft machen.

Früher nannte man ziemlich oft (ohne Rücksicht auf die Sporenbildung) die Langstäbchen *Bacillus*, die Kurzstäbchen *Bacterium*. Man ist mit Recht hiervon abgekommen. Dagegen erfreut sich eine andere Einteilung heute noch ziemlich großer Anerkennung, derzufolge in die Gattung *Bacillus* alle peritrich, in die Gattung *Pseudomonas* alle polar, und in die Gattung *Bacterium* alle nicht begeißelten Stäbchen einzurichten wären. Zweifellos einander sehr nahestehende Formen werden bei Anwendung dieses Systems weit voneinander getrennt, wie es eben bei einem solchen, nur dieses eine Merkmal (die Geißel-Bildung) berücksichtigenden Einteilungs-Prinzip nicht anders der Fall sein kann.

Die sporenbildenden Bazillen in drei Genera: *Bacillus*, *Clostridium* und *Pectridium* einzuteilen, je nachdem die Zelle bei der Sporenbildung unverändert bleibt, oder Spindel- bzw. Schlegel-Form annimmt, ist aus den bereits angegebenen Gründen nicht berechtigt.

Wie jeder andere Organismus sollte — entsprechend den international festgesetzten Regeln der Nomenklatur — auch jede genau beschriebene Bakterienart einen lateinischen, aus Genus- und Spezies-Bezeichnung gebildeten Doppelnamen besitzen, hinter dem der Autorname zu stehen hat. Z. B. wurde der von FERDINAND COHN und ROBERT KOCH zuerst genau untersuchte Milzbrandbazillus richtig *Bacillus anthracis* F. Cohn et R. Koch getauft. Leider sind jedoch im Laufe der Jahre eine Unmasse von inkorrekt gebildeten Bakterien-Namen und unzulänglichen Art-Beschreibungen veröffentlicht worden, die eine ebenso überflüssige wie unerfreuliche Belastung der bakteriologischen Literatur darstellen. Mitunter haben die „glücklichen Entdecker“ geglaubt, alle Eigenschaften ihrer „Art“ in die Speziesbezeichnung unterbringen zu müssen. Auf diese Weise sind wahre Ungetüme von Namen entstanden, etwa folgender Art:

Bacillus membranaceus amethystinus mobilis GERMANO,
Micrococcus acidi paralactici liquefaciens halensis KOZAI,
Streptococcus acidi paralactici non liquefaciens halensis HASHIMOTO,

Granulobacillus saccharobyticus immobilis liquefaciens GRASSBERGER ET SCHATTENFROH,
Granulobacillus saccharobyticus mobilis non liquefaciens GRASSBERGER ET SCHATTENFROH,
Tetradiplocooccus filiformans Lodzensis BARTOSZEWCZ ET SCHWARZWASSER,
Bacterium paracoli anindolicum aglagopex HUETTEMANN.

Besonders unangebracht ist es, neue Genusnamen zu bilden, um darin irgendwelche Eigenschaften oder gar nur den Fundort kenntlich zu machen. Z. B. gibt es einen sehr verbreiteten, die Milch stark schleimig machenden Mikrokokkus (*M. pituitoparus*), der bloß deshalb, weil er auf Stroh gefunden wurde, die besondere Genusbezeichnung *Karphocooccus* erhalten hat. Da der Organismus aber auch in der Luft, im Dünger und in der Erde vorkommt, so müßte eigentlich bei Innehaltung dieses Prinzips der volle Name (unter Verwendung aller Schul-Reminiszenzen) zu *Karphokoprogeaërococcus pituitoparus* erweitert werden. Sicherlich ein ebenso treffliches mnemotechnisches wie zungengymnastisches Übungsstück!

Die überaus wünschenswerte Klärung der ganzen Angelegenheit darf nur dann erhofft werden, wenn erstens allgemein aufs strengste vermieden wird, leichthin neue bzw. falsch gebildete Genus- und Arten-Namen aufzustellen, und zweitens von möglichst vielen Seiten daran mitgearbeitet wird, den Wert ungenügend beschriebener und unrichtig benannter Arten allmählich zu entwirren und aufzuarbeiten. Zwei Mediziner, K. B. LEHMANN und R. O. NEUMANN, haben bereits sehr wertvolle Arbeit in dieser Richtung geleistet; ihre durch einen vorzüglichen Atlas ergänzte „Diagnostik der Bakterien“ ist das Beste, was in der Weltliteratur in dieser Hinsicht existiert. Auch speziell auf agrikulturbakteriologischem Gebiete müssen wir mehr und mehr dazu übergehen, von der „Artpulverisierung“ Abstand zu nehmen, und statt dessen unter sorgfältiger Berücksichtigung des bisher Geleisteten zur Aufstellung einer beschränkten Zahl gut definierter, leicht kenntlicher Bakterien-Gruppen überzugehen, innerhalb deren dann die bisher zwar gewöhnlich als „Arten“ beschriebenen, aber meist wohl nur als Varietäten zu bewertenden Formen (eventuell unter Beibehaltung ihrer ursprünglichen Benennung als Trivialname) ihren Platz finden würden. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann den — namentlich praktisch oft sehr wichtigen — Besonderheiten der einzelnen Varietäten ebenso gut Rechnung getragen werden wie dem nicht minder berechtigten Wunsche, die Bakterien-Systematik endlich dahin zu bringen, daß sie nicht mehr ein Hindernis, sondern eine wirksame Hilfe für weitere Arbeiten darstellt.

Neben den wissenschaftlichen Arten-Namen können natürlich auch die Bakterien, wie jede höhere Pflanze und jedes Tier, einen oder mehrere Trivialnamen haben, die nicht den strengen Regeln der wissenschaftlichen Nomenklatur unterliegen und die gerade deshalb für den Gebrauch recht bequem sind, z. B. Knöllchenbakterien, Lakto-bazillen (langstäbchenförmige Milchsäurebakterien), Urobazillen (harnstoffzersetzende Bakterien), Azotobakter, Aërobakter (gasbildende Darm-Milchsäurebakterien), Heu-, Kartoffel-, Buttersäurebakterien usw. Die in der medizinischen Literatur für

manche Mikrokokken gebräuchliche Bezeichnung *Staphylococcus* (Trauben-Kokkus) ist ebenfalls zu den Trivialnamen zu rechnen, denn um eine regelmäßig auftretende systematisch verwertbare Erscheinung handelt es sich bei der traubenförmigen Anordnung der kugeligen Zellen natürlich nicht (s. Taf. I, Fig. 1).

Die „Society of American Bacteriologists“ hat vor einigen Jahren zur besseren Charakterisierung der Bakterienarten ein numerisches Verfahren in Vorschlag gebracht; alle wichtigen Eigenschaften finden ihren Ausdruck in einer übersichtlichen Zahlenreihe. Leider hat diese sehr nützliche Anregung bewirkt, daß manche Autoren nun wieder glauben, Sinn und Anordnung dieser Zahlen notwendigerweise „verbessern“ zu müssen. Sollten diese „Reformierungs“-Bestrebungen weiter um sich greifen, so würde leider auch hier wieder sehr bald statt der erstrebten Ordnung eine arge Unordnung zu finden sein.

Mit der Systematik der niederen Pilze steht es nun leider noch etwas schlimmer als mit derjenigen der Bakterien. Nur die Sproßpilze haben, vor allem wegen ihrer großen praktischen Bedeutung, ebenfalls schon eine relativ gründliche Bearbeitung erfahren. Für unsere Zwecke dürfte es jedoch genügen, wenn ich hervorhebe, daß man die Bezeichnung *Saccharomyceten* ausschließlich für sporenbildende Sproßpilze reservieren, dagegen nicht, wie es vielfach geschah, auch für solche Arten verwenden sollte, die niemals Endosporen bilden. Diese sind entweder der Gattung *Torula* einzuordnen oder, wenn sie auf den Nährösungen starke Hämte bilden, zu *Mycoderma* zu stellen.

Von den sonstigen Pilzen interessieren uns vor allem noch die sogen. *Fungi imperfecti*. In Wirklichkeit sind allerdings nicht die Pilze „unvollkommen“, wohl aber unsere Kenntnisse über sie. Die bisher vorliegenden „Beschreibungen“ (oft sind es eigentlich nur kurze Notizen und Bruchstücke von Beschreibungen) sind nun zwar in bändereichen Werken sorgfältig gesammelt worden. Aber auch sie bedürfen dringend sehr eingehender, kritischer Bearbeitungen. Die vielen tausend „*Fungi imperfecti*“ werden sich hoffentlich mit der Zeit ebenfalls zu einer relativ leicht übersehbaren Zahl gut erkennbarer Gruppen zusammenfassen lassen. Bisher liegen leider nur erst sehr wenige derartige Ordnungsversuche vor, so daß ich mich hier darauf beschränken muß, aus dem Zusammenhange heraus, nur diejenigen „Schimmelpilz“-Gruppen kurz zu charakterisieren, mit denen wir weiterhin noch mehrfach zu tun haben werden.

Die *Oidium*- oder *Oospora*-Arten mit ihrem bekanntesten Vertreter, dem „Milchschimmel“ (*Oidium lactis*) haben ein gegliedertes, durchsichtiges Myzel, an dem die Konidien („Oidien“) in Kettenform abgegliedert werden (Taf. I, Fig. 15). Sehr ähnliche Formen zeigen die Vertreter der Gattung *Dematioides*, für die indessen ein dunkel gefärbtes Myzel charakteristisch ist. Die *Mucorineen* sind durch ein nicht gegliedertes, reich verzweigtes Myzel und relativ große Sporangien ausgezeichnet

(Taf. II, Fig. 14); außerdem können sie sogen. Zygosporen ausbilden, die man indessen nur relativ selten zu Gesicht bekommt. Sowohl *Aspergillus* wie *Penicillium* besitzen dagegen ein gekammertes Myzel sowie Konidienträger, die bei jenem kolbig angeschwollen, bei diesem dagegen pinselartig verzweigt sind (Taf. II, Fig. 15 und 16). Als zweite, seltenere Art der Fruktifikation kommen bei beiden Gattungen noch die sogen. Peritheciens in Frage.

In bezug auf die Protozoen erwähnte ich bereits, daß man die als Wasser- und Bodenbewohner für uns interessanten Formen nach der Art ihrer Bewegungsorgane in drei Abteilungen unterbringen kann. Mittels Pseudopodien bewegen sich die *Rhizopoden* (Wurzelfüßer) oder *Sarkodinen*¹⁾, zu denen die *Amoeben* und die *Heliozoen* (Sonnentierchen) zu stellen sind. Kräftige Geißeln besitzen die *Mastigophoren* (Geißelträger), von denen die *Flagellaten* die für uns wichtigste Unterabteilung bilden. Und die dritten im Bunde sind die *Ciliaten* oder *Infusorien*, die sich im Besitze eines Wimperkleids befinden.

Naturgemäß gibt es zwischen Bakterien, Sproß- und Schimmel-pilzen, Protozoen und Algen allerhand Übergänge und Zwischenformen. Zwischen Bakterien und Saccharomyzeten stehen die *Schizosaccharomyzeten*, die sich spalten wie die Bakterien, aber im übrigen vieles mit den Saccharomyzeten gemeinsam haben. Zwischen Bakterien und Schimmel-pilze treten die *Streptotrichen* oder *Aktinomyzeten*, häufige Dünger- und Bodenbewohner, deren feines, oft mit Kolben besetztes pilzartiges Geflecht leicht in kurze, durchaus bakterienartige Glieder zerfällt. Als weitere Zwischenform hat man die Gruppe der *Mycobacteriaceen* aufgestellt, die alle jene Bakterien, Knöllchenbakterien usw. umschließen soll, die echte Verzweigung zeigen. Nach dem, was ich in der zweiten Vorlesung über das allgemeine Vorkommen verzweigter Formen bei den Bakterien gesagt habe, brauche ich nicht besonders zu begründen, daß und weshalb mir die Gruppe dieser „Mycobacteriaceen“ durchaus entbehrliech erscheint. Daß die *Spirochaeten* eine Zwischenstellung zwischen Bakterien und Protozoen einnehmen, wissen wir bereits. Unter den Flagellaten finden sich ebenfalls mancherlei Anklänge an das Bakterienreich. Und schließlich fehlt es auch keineswegs an Übergängen von den Bakterien zu den Algen; in erster Linie kommen hier die sogen. Spaltalgen in Betracht.

Früher hat man die Bakterien allgemein als Tiere angesehen, jetzt rechnet man sie allgemein zu den Pflanzen. Verwandtschaftliche Beziehungen bestehen zweifellos nach beiden Seiten hin, und am richtigsten ist es jedenfalls, die dem Volksmunde entlehnte Bezeichnung „Pflanze“

¹⁾ So genannt wegen ihres nackten „fleischartigen“ Leibes (σαρκώδης = fleischartig).

und „Tier“ für diese niedersten Organismen überhaupt nicht zu verwenden. Sie sind von jenen höheren Lebewesen, zu deren Kennzeichnung diese Worte geprägt wurden, wohl ungefähr gleichweit entfernt.

Wie gesagt, sind alle diese Benennungen, Trennungen und Zusammenfassungen lediglich Hilfsmittel, die uns in den Stand setzen sollen, uns einen leidlich zutreffenden Überblick über die Mannigfaltigkeit der existierenden Einzelformen zu verschaffen. Es ist aber deren Leben, Wirken und Schaffen, das unser Interesse in weit höherem Maße in Anspruch nehmen muß; mit ihm wollen wir uns nunmehr näher bekannt machen.

- - - - -

4. Vorlesung.

Chemische Zusammensetzung. — Lebensbedingungen der vegetativen Formen: Nahrung. Reaktion des Substrats und Reizstoffe.

Chemische Zusammensetzung. Zum besseren Verständnis der weiterhin folgenden Darlegungen mögen ein paar Worte über die chemische Zusammensetzung der Bakterien und der niederen Pilze vorausgeschickt sein. Wie bei der Untersuchung der höheren Pflanzen, können wir uns die gewünschten Auskünfte entweder durch die vollständige, quantitative chemische Analyse verschaffen, oder wir benutzen allerlei mikrochemische Reaktionen (zum Nachweis von Fett, Glykogen, Zellulose usw.). Übrigens gibt uns schon der Ausfall der gewöhnlich angewandten Färbemethoden nicht selten den oder jenen beachtenswerten Aufschluß.

Die vegetativen Formen der Mikroorganismen sind — wie andere lebhaft wachsende junge Pflanzenteile — vor allem durch einen hohen Wassergehalt (rund 75—90 %) ausgezeichnet. Dagegen sind die Sporen (in ihrer Eigenschaft als Dauerform) relativ wasserarm; ihr Inhalt besteht vorwiegend aus konzentriertem Eiweiß.

Im Mittel stellt sich die Zahl für die Trockensubstanz der vegetativen Formen auf rund 15 %. Nach den bisher ausgeführten, allerdings nicht sehr zahlreichen Bestimmungen, läge das Minimum bei 1,7, das Maximum bei 26 %¹⁾. Bei der Analyse von *Mucor* und *Penicillium* wurde an Trockensubstanz im Mittel gefunden²⁾:

im Myzel	in den Sporen
12,36 %	61,18 %

Die Trockensubstanz ist bei den Bakterien im allgemeinen auffallend stickstoffreich. Oft stellt sich dieser Wert auf ca. 10 %, d. h. die Trockensubstanz der Bakterienzelle besteht zu rund 60 % aus Eiweiß. Mit den Hefen verhält es sich ähnlich; sie werden denn auch als Nahrungs- wie als Futtermittel mit Recht mehr und mehr geschätzt. Die Schimmelpilze sind gewöhnlich etwas ärmer an Stickstoff; manche von ihnen kommen sogar mit erstaunlich kleinen Quantitäten dieses

¹⁾ Vgl. die tabellarische Zusammenstellung in KRÜSES Allgem. Mikrobiologie, 1910, S. 53.

²⁾ E. CRAMER, Archiv f. Hygiene, Bd. 13, 1891, S. 71.

wichtigen Nährstoffes unter weitgehender Reduktion ihres prozentischen Stickstoffgehaltes (bis auf ca. 1% der Trockensubstanz) ziemlich gut aus.

Als Stickstoff-Maximum hat man 15—16% der Trockensubstanz ermittelt¹⁾. In Erinnerung dessen, was ich über den Bau der Bakterienzelle gesagt habe, ist es nicht schwer, diese Zahlen zu verstehen. In der Regel nimmt ja das Eiweiß die allererste Stelle ein. Kommen dagegen mächtige Schleimhüllen zur Ausbildung, so sinkt der Stickstoffgehalt der Gesamt-Trockenmasse meist sehr; der Bakterienschleim ist häufiger — auch bei den stickstoffbindenden Bakterien — stickstofffrei als stickstoffhaltig²⁾. So wurde z. B. für Azotobakter der Stickstoffgehalt zu 1,33 oder zu 12,8% gefunden, je nachdem es sich um stark oder wenig schleimige Ansammlungen handelte³⁾.

Auch die eigentliche Zellwand der Bakterien und Pilze ist teils stickstoffhaltig, teils stickstofffrei. Besonders bei den Pilzen, weniger bei den Bakterien ist Chitin in ihr nachgewiesen worden⁴⁾.

Sowohl bei den Bakterien wie bei den Pilzen sind die stickstoffhaltigen Bestandteile der Zellen zum weitaus überwiegenden Teile schwer verdaulich und demgemäß schwer zersetztlich. Die sogen. „Nukleinsubstanzen“ im Eiweiß und das Chitin in der Zellwandung tragen hierzu wesentlich bei. Wie ich später zeigen werde, steht die sehr geringe düngende Wirkung der ungemein bakterienreichen, festen Exkremeante unserer Haustiere hiermit in engem Zusammenhange.

Von stickstofffreien Substanzen sind u. a. im Innern der Pilz- und Bakterien-Zellen namentlich Glykogen und Granulose nachgewiesen worden. Sie vertreten hier in der Regel Zucker und Stärke. Ein chemisch nicht genau definierter Reservestoff, das sogen. „Volutin“ spielt in der bakteriologischen Literatur eine ziemlich große Rolle; möglicherweise ist es allerdings noch zu den stickstoffhaltigen Zelleinschlüssen zu rechnen. Fett-Tröpfchen sind ebenfalls, besonders bei den Pilzen, sehr oft in großer Zahl vorhanden. Desgleichen sind in der Zellwandung, namentlich bei den Sporen, verschiedene Fette und Wachse eingelagert. Die Benetzung mit Wasser ist infolgedessen stark herabgesetzt. Auch die schwierige Färbbarkeit der Sporen beruht z. T. auf dieser Imprägnierung mit Wachs.

Unter den sporenenfreien Bakterien sind besonders die Tuberkelbazillen sowie einige andere, in Butter nicht gerade selten vorkommende Arten durch einen ungewöhnlich hohen Fettgehalt ausgezeichnet. In der Trockensubstanz der Tuberkelbazillen sind bis zu 40% Fett nachgewiesen worden⁵⁾. Die Farbe wird infolgedessen auch von ihnen

¹⁾ Analysen-Zusammenstellung bei KRUSE a. a. O. S. 54.

²⁾ Vgl. die Literatur-Angaben in meinem Handbuch d. landw. Bakteriologie, 1910, S. 9, 53, 249, 663.

³⁾ GERLACH und VOGEL, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 9, 1902, S. 884; C. HOFFMANN und B. W. HAMMER, ebenda, Bd. 28, 1910, S. 137.

⁴⁾ C. VAN WISSELINGH, Jahrb. f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 31, 1898, S. 619; A. VIEHÖVER, Berichte d. dtsch. botan. Gesellschaft, Bd. 30, 1912, S. 443.

⁵⁾ KRESLING, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Bd. 30, 1901, S. 897. Hier auch Angaben über die Zusammensetzung des Fettes.

nur schwer angenommen. Ist dies aber geschehen, dann können sie selbst durch Behandlung mit Säure weit schwieriger wieder entfärbt werden, als andere Spezies; sie werden deshalb oft unter der Kollektiv-Bezeichnung „säurefeste Bakterien“ in der Literatur erwähnt.

Die in den höheren Pflanzen so weit verbreitete Zellulose kommt bei den Mikroorganismen relativ selten vor. Natürlich ist, wie bei allen diesen, ziemlich schwierig feststellbaren Dingen, ihr Vorkommen gelegentlich auch gänzlich in Abrede gestellt worden.

Sicherlich kommen zum mindesten den echten Zellulosen — die ja doch auch keine einheitliche chemische Substanz darstellen — sehr nahestehende Körper in der Zellwand einer ganzen Reihe von Bakterien, aber auch bei manchen Pilzen und sogar bei Protozoen vor¹⁾. Eine Essigbakterie, das *Bacterium xylinum* A. BROWN, kann so reich an Zellulose werden, daß man sich aus den von ihr gebildeten Häuten Visitenkarten anfertigen lassen kann²⁾.

Der Mineralstoff-Gehalt der Trockensubstanz wurde zu knapp 2 bis zu reichlich 30% bestimmt; also auch hier wieder sehr weite Differenzen. Meist ist die Asche besonders reich an Phosphor und an Kali. Gelegentlich können aber andere Stoffe, namentlich Eisen, derart in den Vordergrund treten, daß sich das Resultat ganz und gar verschiebt.

Es ist allgemein bekannt, daß und wie sehr die chemische Zusammensetzung der Kulturgewächse schwanken kann, je nach Bodenbeschaffenheit, Düngung, Jahreswitterung usw. Es ist aber auch klar, daß diese Differenzen in der Zusammensetzung bei den so sehr variablen und anpassungsfähigen Mikroorganismen noch viel größer sein können und sein müssen. Die weiten Spannungen in den mitgeteilten Zahlen sind sicherlich in der Hauptsache auf die ungleichen Existenzbedingungen zurückzuführen, unter denen sich die betreffenden Kulturen entwickelt haben.

Welche Verschiedenheiten hier vorkommen können, lehren einige von E. CRAMER in dieser Richtung ausgeführte Untersuchungen³⁾. U. a. enthielt ein und derselbe Stamm Cholera-Bakterien in Prozenten der Trockensubstanz

	bei Züchtung in Fleischbouillon	resp.	in eiweißfreier Nährösung
an Eiweiß	68,25		35,75
an Asche	25,87		13,70
zusammen	95,12		49,45

An stickstofffreien organischen Bestandteilen waren also das eine Mal 5, das andere Mal aber 50% vorhanden.

¹⁾ Vgl. die Zusammenstellung in KRUSES Allgem. Mikrobiologie, 1910, S. 78—80.

²⁾ A. J. BROWN (Journal of the Chemical Society, 1886, p. 432) fand in der trockenen Haut 50—60% Zellulose. O. EMMERLING (Berichte d. Deutsch. Chemischen Gesellsch., Bd. 32, 1899, S. 541) ist der Ansicht, daß es sich um einen chitinartigen Körper handelt. Vgl. auch BEIJERINCK, Centralbl. f. Bakter., II. Abt., Bd. 4, 1898, S. 212.

³⁾ Archiv f. Hygiene, Bd. 16, 1893, S. 151, Bd. 22, 1895, S. 167.

Je nach der Zusammensetzung wechselt naturgemäß auch das spezifische Gewicht der Mikroben. Teils liegt es unter, teils über 1; im allgemeinen sind die Bakterien und namentlich deren Sporen etwas schwerer als Milch. Gleichwohl ist eine Herabsetzung des Keimgehaltes der Milch durch das Zentrifugieren nur in relativ geringem Grade möglich, wie wir später (in der 17. Vorlesung) noch sehen werden.

Je nach den Bedingungen, unter denen die betreffende Kultur herangewachsen war, variierte bei den von STIGELL ausgeführten Untersuchungen das spezifische Gewicht der (sporenfreien) Bakterien zwischen 0,9 und 1,3¹⁾. Für Bakterien-Sporen wurde es von ALMQUIST zu 1,35—1,40 ermittelt²⁾.

Die Lebensbedingungen der vegetativen Formen. Betrachten wir nunmehr in großen Zügen die Existenzbedingungen der Mikroorganismen, und zwar — der Übersichtlichkeit halber — zunächst nur diejenigen der vegetativen Formen. Die Dauerformen befinden sich allerdings, genau wie vollständig trockene Getreidesamen, Nüsse u. dergl., gewissermaßen in einem Zustande des Scheintodes. Immerhin sind es ganz spezielle und z. T. sehr wissenswerte Momente, die für deren Bildung und Keimung, sowie namentlich für die oft erstaunlich große Resistenz dieser Zellen von maßgebender Bedeutung sind. In der sechsten Vorlesung wird hierauf näher einzugehen sein.

Wiederholt wies ich darauf hin, daß die Variabilität der Form, der Beweglichkeit und anderer Eigenschaften zum größten Teile abhängt von den jeweils gegebenen Existenzbedingungen. Aber ganz ebenso, wie uns dies das Leben der höheren Organismen — unser eigenes nicht ausgenommen — täglich vor Augen führt, wechseln auch die von den einzelnen Organismen gestellten Ansprüche innerhalb engerer oder weiterer Grenzen. Sie sind selbst keine konstante Größe. Die Folge ist eine teils nur geringe, teils aber auch sehr große Anpassungsfähigkeit an andersartige Lebensverhältnisse. Manche Mikroben bleiben unter allen Umständen bei ihren genau spezifizierten, meist relativ einfachen Ansprüchen, getreu dem alten Worte: „sint ut sunt aut non sint“. Andere Arten sind um so vielseitiger, und im ganzen ergibt sich jedenfalls ein so äußerst buntes Lebensbild, wie es im ganzen Reich der Organismen sonst nicht mehr wiederkehrt.

In der dritten Vorlesung hob ich auch bereits die Tatsache hervor, die uns den Schlüssel liefert zum Verständnis dieses zunächst vielleicht sehr wunderlich erscheinenden Verhaltens. Die rasche Aufeinanderfolge der Generationen ist es, die wir stets im Auge behalten müssen. Was bei den höheren Organismen Jahrzehnte, Jahrhunderte und Jahrtausende sind, das sind bei den Bakterien Stunden, Tage und Wochen.

¹⁾ Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Origin., Bd. 45, 1908, S. 487.

²⁾ Zeitschr. f. Hyg., Bd. 28, 1898, S. 321.

Könnten wir mit derselben aufs Höchste gesteigerten Geschwindigkeit etwa alle jene Umwandlungen vor unseren Augen zum Ablauf bringen, die z. B. unsere heutigen Einhufer als Nachkommen des alttertiären Palaeotheriums durch die Jahrtausende hin erfahren haben, wir würden genau vor solchen Zweifelsfragen stehen, wie sie uns bei dem Studium der Bakterien und der Pilze täglich entgegentreten.

Eine der größten Schwierigkeiten in dieser Hinsicht beruht darin, daß wir notwendigerweise darauf angewiesen sind, unsere Versuche zum größten Teile unter den im Laboratorium gegebenen Bedingungen zur Durchführung zu bringen. Daß diese oft sehr weit von den in der Natur gegebenen abweichen und abweichen müssen, bedarf keiner längeren Auseinandersetzung. Notwendig aber ist es, dieser Tatsache stets in entsprechender Weise Rechnung zu tragen. Es ist keineswegs damit getan, „Laboratoriums-Rassen“ zu züchten und diese in ihren Eigenheiten genau zu studieren. Vor allem muß der landwirtschaftliche Bakteriolog herauszufinden suchen, welche Existenzbedingungen die Mikroorganismen an den verschiedenen Stellen des landwirtschaftlichen Betriebes vorfinden, unter was für Bedingungen sie in den Sauergruben und Futtersilos, in den Räumen, Gefäßen und Produkten der Molkerei, im lagernden Stallmist und in dem verschieden bearbeiteten und gedüngten Boden leben. Zu erfolgreichem Arbeiten auf diesem Gebiete ist also eine eingehende Kenntnis und Berücksichtigung aller dieser Gesichtspunkte von größter Bedeutung. Je genauer sie bekannt und je mehr ihnen beim Arbeiten im Laboratorium Rechnung getragen wird, umso eher wird man auch aus den erlangten Befunden mit Sicherheit für die Technik des Landwirtschafts-Betriebes wichtige Schlüsse ziehen können.

Wie die höheren, bedürfen natürlich auch die niederen Organismen einer zusagenden Nahrung, einer ausreichenden Menge Feuchtigkeit, des zur Atmung benötigten Sauerstoffs, sowie eines gewissen Maßes von Wärme. Dagegen ist das (für alle grünen Gewächse unentbehrliche) Licht in keinem Falle nötig; manchmal erweist sich seine Gegenwart allerdings nützlich, meist aber schädlich. Auch noch einige andere Einwirkungen werden weiterhin anzuführen sein, die in das Leben der Mikroorganismen ebenfalls teils vorteilhaft, teils nachteilig eingreifen können.

Nahrung. In bezug auf die Ernährung der Bakterien und der Pilze werden in der Literatur einige Bezeichnungen ziemlich oft gebraucht, die zwar teils überflüssig, teils geradezu absurd sind, die ich aber doch, eben wegen ihrer häufigen Verwendung, nicht ganz mit Stillschweigen übergehen kann. Überflüssig ist die Trennung der Mikroorganismen in

„Parasiten“ und „Saprophyten“¹⁾). Während sich jene auf Kosten der von ihnen befallenen lebenden Organismen ernähren, decken diese ihren Nahrungsbedarf aus den Abfällen und Resten des tierischen und des pflanzlichen Stoffwechsels (bei wörtlicher Übersetzung müßten die Saprophyten „Faulpflanzen“ heißen). Bei künstlicher Züchtung wachsen aber die Parasiten auf den im Laboratorium gebräuchlichen „toten“ Nährböden in der Hauptsache genau so gut „saprophytisch“ wie alle anderen Mikroben. Schon deshalb scheinen wir jene Bezeichnungen durchaus entbehrlich zu sein. Es kommt hinzu, daß natürlich auch im normalen Verlauf der Dinge Parasiten gelegentlich zu Saprophyten, Saprophyten zu Parasiten werden können.

Vollkommen absurd ist aber nun eine andere Ausdrucksweise, derzufolge die Bakterien „essen und trinken“, den Salpeter „fressen“ sollen usw. Ich glaube kaum, daß sich auf Grund solcher gesucht populären Ausdrucksweise der wissenschaftlich nicht vorgebildete Landwirt, für den ja die betreffenden Schriften wohl bestimmt sind, eine richtige Vorstellung vom Sein und Leben der Bakterien bilden kann. Für die Protozoen würden jene Ausdrücke teilweise ganz passend sein. In der Tat wird hier die Nahrung zwar entweder — wie bei den Bakterien und Pilzen — in gelöstem Zustande aufgenommen, oder aber sie gelangt in fester Form, eventuell sogar durch einen besonderen „Zellmund“ in den Körper dieser Tiere. Soweit Bakterien und Pilze in Frage kommen, sind indessen jene Ausdrücke vollkommen deplaziert. Denn hier vollzieht sich ja die Stoffaufnahme genau so wie bei jeder Pflanzenwurzel. Auch die Wurzel „frißt“ nicht, sondern sie zieht auf osmotischem Wege Nahrungsstoffe an sich und scheidet die nicht weiter gebrauchten Produkte des Stoffwechsels durch die geschlossene Zellhaut wieder aus.

Die Substanzen, die im Stoffwechsel der Bakterien und der Pilze eine Rolle spielen, sind, wie bei den höheren Pflanzen, teils unbedingt notwendig zur Erhaltung der Existenz, teils förderlich in dieser oder jener Richtung, teils aber auch vollkommen überflüssig und nur zufällig vorhanden. Wer mit der Physiologie der höheren Gewächse näher vertraut ist, weiß, daß trotzdem gerade auf diesem Gebiete über derartige Fragen schon sehr viel gearbeitet worden ist, doch immer noch so manche Unsicherheit besteht. Viel häufiger fehlt es natürlich noch an den definitiven Antworten im Bereiche der Physiologie der niederen Organismen. Namentlich ist es die oft sehr geringe Größe der hier benötigten, bzw. nicht benötigten Substanz-Mengen, die ein sicheres Urteil ungemein schwierig, wenn nicht unmöglich macht. Zahlreiche

¹⁾ ὁ πυράστος = der Schmarotzer; απρός = faulig, τὸ φυτόν = die Pflanze.

Arten von Bakterien und Pilzen sind so bescheiden in ihren Ansprüchen an die Ernährung, daß sie in dem gewöhnlichen destillierten Wasser, wie es in den Laboratorien vorrätig gehalten wird, ein ziemlich gutes Fortkommen finden. Ja mitunter vermehren sie sich darin so üppig, daß das Wasser trübe, von Pilzflocken erfüllt oder geradezu schleimig wird.

Die anspruchslosesten Wasserbakterien, die bisher genauer geprüft worden sind, gedeihen noch, wenn ihnen pro Liter geboten wird¹⁾:

an Traubenzucker	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
0,002 $\mu\gamma$	0,00007 $\mu\gamma$	0,0000007 $\mu\gamma$

1 Teil Traubenzucker entfällt hierbei auf 500 000 Millionen Teile Wasser, 1 Teil Ammonphosphat aber auf die ganz unvorstellbare Menge von 1400 Billionen (d. h. 1 400 000 000 Millionen) Teile Wasser. Und doch sind auch diese im ersten Augenblick ganz unfaßlich erscheinenden Verhältnisse nicht allzu schwer begreiflich, wenn man sie in die richtigen Beziehungen zu der Winzigkeit der Bakterien setzt. Sind in dem betreffenden Wasser 1000 Keime pro ccm vorhanden, so enthält das Liter 1 Million Bakterien, die rund 1 $\mu\gamma$ wiegen würden. Diese Bakterienmenge verbraucht also an Traubenzucker 0,002, an Ammonsulfat 0,00007 ihres eigenen Körpergewichts. Bei mäßiger, aber noch ausreichender Ernährung verzehrt ein Mensch pro Tag an Kohlehydraten etwa 0,005, an Eiweiß 0,0007 seines eigenen Körpergewichts. Wir sehen, jene überraschenden Zahlen sind von diesem Standpunkte aus recht wohl vorstellbar.

Hinsichtlich der mineralischen Substanzen scheinen im allgemeinen keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen niederen und höheren Organismen zu bestehen. Man wird trotz mancher scheinbar entgegengesetzter lautenden Befunde annehmen dürfen, daß Schwefel, Phosphor, Kalium, Kalzium, Magnesium und Eisen hier wie dort als unentbehrlich zu betrachten sind.

Allerdings ist es gelungen, Pilz- und Bakterien-Wachstum auch bei möglichst vollständigem Ausschluß von Schwefel, Kalium, Kalzium und Eisen zu erhalten. Wenn man aber bedenkt, wie außerordentlich schwierig es ist, die letzten Spuren gerade dieser Elemente vollkommen auszuschließen, und Welch große Bedeutung doch solche „Spuren“ haben können für die bei schwacher Entwicklung höchstens einige Tausendstel Milligramm wiegenden Bakterien (mit nur etwa 0,7% Gesamt-Asche in der wasserhaltigen Substanz!), so wird man auch gegenüber den Resultaten äußerst exakt durchgeführter Untersuchungen nicht alle Zweifel zum Schweigen bringen können²⁾. Außerdem ist zu beachten, daß eine Zugabe dieser scheinbar entbehrlichen Elemente gewöhnlich eine sofortige, sehr bedeutende Wachstums-Steigerung im Gefolge hat.

Sehr wohl möglich ist es, daß noch verschiedene andere Mineralsubstanzen, wenigstens in geringen Quantitäten und für manche Mikroben-Arten, sich als nützlich oder sogar als notwendig erweisen werden. Die großen Schwierigkeiten, die sich gelegentlich, namentlich bei der

¹⁾ E. KOHN, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 15, 1906, S. 690, 777. Die hier eingeführte Bezeichnung 1 $\mu\gamma$ bezeichnet $\frac{1}{1000}$ mg.

²⁾ Was zur Durchführung derartiger Experimente nötig ist, lehren am besten die betreffenden Arbeiten von W. BENECKE, Botanische Ztg., Bd. 54, 1896, I. Abt., S. 97, Bd. 65, 1907, I. Abt., S. 1.

Züchtung gewisser Bodenbakterien, unseren Bemühungen entgegenstellen, sind teilweise sicher auf diesem Gebiete zu suchen.

Speziell für Azotobakter ist festgestellt worden, daß neben Eisen auch Aluminium, Mangan und Silizium vorteilhaft wirken¹⁾). Ob ein günstiger Effekt erreicht wird, hängt allerdings sehr sowohl von der Form ab, in der diese Elemente dargeboten werden, wie von den sonstigen Versuchsbedingungen.

In bezug auf die Deckung des Stickstoff- und des Kohlenstoff-Bedarfes treten uns weit größere Verschiedenheiten zwischen niederen und höheren Pflanzen entgegen. Neben mancher Analogie gibt es zahlreiche, grundsätzliche Abweichungen. Ja es fehlt nicht an Modifikationen in der Ernährung, die von vornherein höchst merkwürdig erscheinen müssen. Eine nähere Betrachtung dieser Dinge lehrt allerdings, daß auch diese — zunächst vielleicht nur wie seltsame Kuriositäten anmutenden — Ernährungs-Prozesse für die reguläre Fortführung des Stoffkreislaufes von fundamentaler Bedeutung sind. Denn alles, was wir hier zunächst, gewissermaßen vom Standpunkte der Mikroorganismen aus gesehen, als Vorgänge der Ernährung, der Atmung usw. kennen lernen, das präsentiert sich bei anderer Betrachtungsweise als jener umfassende Komplex aufs engste ineinander greifender Leistungen, die für den normalen Ablauf aller Stoffumwandlungen in der Natur und speziell im landwirtschaftlichen Betriebe geradezu unentbehrlich sind. Da wir natürlich diesen Fragen wegen ihrer besonderen Wichtigkeit weiterhin im einzelnen nachgehen müssen, so kann ich mich an dieser Stelle ziemlich kurz fassen. Für die Gewinnung eines klaren Überblickes wird dies nur von Nutzen sein.

Als Stickstoffquellen können folgende Substanzen Verwendung finden:

1. Eiweiß und eiweißähnliche Körper,
2. Amid-Verbindungen,
3. Ammon-Verbindungen.
4. Nitrite und Nitrate,
5. elementarer Stickstoff.

Diese Aufzählung ist nicht eine allgemein gültige Klassifizierung der Verbindungen nach ihrem Nährwerte. Zwar ist es oft so, daß Eiweiß-Stickstoff besser nährt als Amid-Stickstoff und dieser besser als Ammon-Stickstoff. Aber es gibt doch so viele Ausnahmen, daß hier von einer Regel kaum gesprochen werden kann. Die sogen. Fäulnis-Bakterien des Düngers und des Bodens bevorzugen die Eiweißstoffe entschieden. Ähnliches gilt für die in und auf den Käsen wuchernden Mikroben. Wenn wir im Laboratorium Fleischbouillon und Milch als Kulturflüssig-

¹⁾ KASERER, Zeitschr. f. d. landw. Versuchswesen in Österreich, Bd. 14, 1911, S. 97.

keiten verwenden, so tragen wir der Vorliebe vieler Arten für eiweißhaltige Nahrung Rechnung.

Von den Amiden hat sich namentlich das Asparagin als recht gute Stickstoff-Quelle erwiesen. Aber auch z. B. der im Harnstoff enthaltene Stickstoff geht imrottenden Dünger nicht selten zu einem ansehnlichen Teile in Bakterien- und Pilzsubstanz über. Desgleichen wird das Ammoniak unter gewissen Bedingungen nicht ungern aufgenommen. Mit den salpetersauren Salzen pflegt dies weit weniger der Fall zu sein. Diese Differenz ist für uns von besonderem Interesse. Es liegt in ihr eine der Erklärungen vor, weshalb nicht selten der durch eine Ammoniakdüngung dem Boden zugeführte Stickstoff weniger rasch zur Wirkung kommt, als wenn er in Form von Salpeter verabreicht wurde.

Als am wenigsten tauglich muß jedenfalls der elementare Stickstoff angesehen werden. Zwar kennen wir schon eine recht stattliche Reihe von Mikroben, die den elementaren Stickstoff der Luft zu ihrer Ernährung zu verwenden in der Lage sind. Aber sie alle bevorzugen doch den gebundenen Stickstoff in dieser oder jener Form; sei es, daß sie ihn lieber als Nitrat oder als Ammon aufnehmen, sei es, daß sie auch bei Zufuhr von Amid- oder Eiweiß-Stickstoff eine gute, mitunter sogar eine geradezu üppige Entwicklung zeigen.

Noch zahlreicher sind die in Frage kommenden Kohlenstoffquellen, nämlich:

1. stickstoffhaltige Kohlenstoff-Verbindungen (Eiweiß und Amide),
2. Kohlenhydrate (Zucker, Stärke, Zellulose usw.),
3. Alkohole (Mannit, Glyzerin, Aethylalkohol u. a.),
4. organische Säuren,
5. Kohlensäure,
6. Kohlenoxyd,
7. Methan.

Steht Eiweiß zur Verfügung, so brauchen Bakterien und Pilze in der Regel keine besondere Kohlenstoff-Quelle. Manche sind allerdings so anspruchsvoll, daß sie mit Eiweiß allein nicht zufrieden sind. So gedeihen z. B. gewisse Milchsäure-Bakterien nur, wenn ihnen auch noch Zucker dargeboten wird. Auch manche Amide können zugleich als Stickstoff- und Kohlenstoff-Quelle fungieren; doch tritt hier die Notwendigkeit oder wenigstens die Nützlichkeit der Anwesenheit einer anderen, mehr zusagenden Kohlenstoff-Verbindung gewöhnlich bereits deutlich hervor.

Zwischen den an zweiter bis vierter Stelle angeführten Substanzen besteht hinsichtlich des Nährwertes keine allgemein gültige Stufenleiter.

Tafel IV.



**1. Bakterien-Wachstum in Leitungswasser + 0,05% K_2HPO_4
+ 1/2% Pepton, Asparagin, Ammonsulfat, Salpeter.**



**2. Bakterien- und Pilz-Wachstum in Leitungswasser + 0,05% K_2HPO_4
+ je 1% Glyzerin
+ 1/2% Pepton, Asparagin, Ammonsulfat, Salpeter.**

M70U

Oft werden allerdings die Kohlenhydrate, speziell Zucker, vorgezogen, in anderen Fällen erweisen sich dagegen Alkohole oder organische Säuren (in Form von Salzen) als besser geeignet.

Die Assimilation der Kohlensäure, die für die Deckung des Kohlenstoff-Bedarfs der grünen Gewächse fast allein in Betracht kommt, spielt im Reiche der Bakterien praktisch eine nur sehr untergeordnete Rolle. Immerhin werde ich über diese an sich höchst interessante Möglichkeit an anderer Stelle noch einige Worte zu sagen haben. Gering ist auch die Zahl derjenigen Arten, die ihren Kohlenstoff-Bedarf aus dem für alle höheren Organismen recht giftigen Kohlenoxyd oder aus dem Methan decken. Für den regelmäßigen Fortgang des Stoffkreislaufes sind jedoch gerade auch diese Besonderheiten von nicht zu unterschätzender Bedeutung.

Wie aus dem bereits Gesagten schon entnommen werden kann, ist für die Verwertung der verschiedenen Stickstoff- und Kohlenstoffquellen deren jeweilige Kombination von größter Wichtigkeit. Auf Tafel IV sind acht Kölbchen dargestellt, die eine verdünnte wässrige Kaliphosphatlösung enthalten, der entweder Pepton, Asparagin, Ammonsulfat oder Salpeter und — in der unteren Reihe — auch noch Glyzerin zugesetzt worden war. Zur Impfung diente ein wenig Erde. Wir sehen, daß die Pepton- und die Asparagin-Lösung in beiden Reihen ungefähr gleich stark mit weißgrauen Bakterien-Massen erfüllt ist. Dagegen fehlt dort, wo nur Ammon oder Nitrat zugegen war, so gut wie jede Entwicklung. Diese Lösungen blieben fast vollkommen klar. In der Glyzerin-Reihe ist dagegen in diesen beiden Kolben ebenfalls recht kräftiges Bakterien-Wachstum wahrnehmbar. Auf der Ammonsulfat-Glyzerin-Lösung schwimmen auch ein paar Schimmelpilz-Kolonien. Würden wir der (glyzerinfreien) Ammonsulfat-Lösung ein wenig Kreide und noch geringe Mengen anderer anorganischer Salze zugesetzt haben, so würden wir auch in ihr, trotz Abwesenheit alles organischen Kohlenstoffs, doch Bakterien-Entwicklung haben konstatieren können. Es sind die Salpeterbakterien, die unter diesen Bedingungen zur Entwicklung kommen. Sie decken ihren Kohlenstoff-Bedarf durch Assimilation der Kohlensäure. Dabei bleibt allerdings die Entwicklung auch in sehr kräftig nitrifizierenden Kulturen so außerordentlich gering, daß sie mit dem bloßen Auge kaum wahrgenommen, geschweige denn, daß sie photographiert werden kann.

In der Literatur werden diejenigen Bakterien, die organische Substanz aus anorganischen Stoffen aufbauen, mitunter als „prototroph“ oder „autotroph“ bezeichnet¹⁾. Dagegen heißen diejenigen Organismen, die sich bereits anderweit gebildete oder verwertete organische Substanz zunutze machen, „metatroph“ oder „hetero-

¹⁾ D. h. sie ernähren sich selbstständig oder aus „erster“ Hand.

troph“¹). Meines Erachtens kann dieser Klassifizierung kaum ein größerer Wert beigelegt werden, als der zuvor kritisierten Rubrizierung in „Saprophyten“ und „Parasiten“. Von vielen „prototrophen“ Arten wissen wir, daß sie auch recht gut „heterotroph“ wachsen können; und selbst bei den lange für exklusiv „autotroph“ angesehenen Salpeterbakterien scheint es so zu sein, daß sie ihren Kohlenstoffbedarf (wie die grünen Gewächse) außer durch Assimilation der Kohlensäure unter Umständen und wenigstens zum Teil auch aus organischen Kohlenstoffverbindungen decken können. Immerhin wollte ich jene Ausdrücke nicht ganz unerwähnt lassen, da manche Autoren ihre Darlegungen gern mit derartigen Fremdworten würzen. Ich selbst werde sie weiterhin nicht mehr verwenden.

Sowohl die Bakterien wie die Pilze können ihre Nahrung nur in gelöster Form aufnehmen. Zum Teil finden sie ja allerdings die Nahrung bereits in diesem Zustande vor (Pepton, Zucker, Asparagin usw.), zum Teil bedarf es aber erst einer entsprechenden Umwandlung (so bei Käsestoff, Fett, Zellulose u. a. m.). Wie bei der tierischen Verdauung geschieht auch hier die Lösung unter dem Einflusse gewisser, von der Mikroben-Zelle sezernierter Substanzen, der sogen. Enzyme oder Fermente²). Diese Bezeichnungen weisen bereits darauf hin, daß wir es hier mit Dingen zu tun haben, die für die Umsetzungs-Tätigkeit der Mikroben (für die sogen. „Gärungen“) von großer Bedeutung sind. Tatsächlich kommen, wie wir noch sehen werden, wichtige Leistungen lediglich infolge der Einwirkung der Enzyme zustande, die noch lange Zeit hierdurch aktiv bleiben können, nachdem das Leben der sie produzierenden Mikroben erloschen ist. Ihre erste Aufgabe beruht aber zweifellos darin, zunächst die von den Mikroorganismen zur Erhaltung ihres Lebens benötigten Substanzen löslich und dadurch erst verwendbar zu machen.

Reaktion und Reizstoffe. Ob auf oder in irgend einem Substrat Bakterien- resp. Pilzwachstum eintritt oder ausbleibt, hängt zu einem sehr großen Teile von der Reaktion des Nährbodens ab. Im großen und ganzen bevorzugen die Bakterien eine schwach alkalische, die Sproß- und Schimmelpilze eine schwach saure Reaktion. Natürlich ist auch das keine Regel ohne Ausnahme. Denn z. B. die Säuerung der Milch, die Essigbildung u. a. m. ist das Werk von Bakterien, die man — wenn auch nicht gerade sehr treffend — als „acidophil“ (d. h. säureliebend) bezeichnet³). Die Säurebildung in der Milch, die saure

¹) D. h. die Ernährung erfolgt (auf Kosten bereits vorhandener organischer Substanz) „nach“ anderweitigem Gebrauch oder in „anderer“ Richtung.

²) ή ζύμη = fermentum = Sauerteig, Gärungsmittel. Der Ausdruck „Enzym“ verdient den Vorzug, weil die Bezeichnung „Ferment“ früher in der deutschen, wie hente noch in der französischen und italienischen Literatur auch für die Bakterien und Pilze selbst gebraucht wurde resp. wird.

³) Wenn es schon nicht ohne Fremdwort geht, so wäre „acidotolerant“ (Säurevertragend) zweifellos richtiger. Wie wir bei anderer Gelegenheit sahen, sind leider Beliebtheit und Richtigkeit solcher termini technici oft zwei sehr verschiedene Dinge.

Reaktion des Käses, sowie das Einsäuern von Nahrungs- und Futtermitteln wirken sehr deutlich in übereinstimmender Weise dahin, daß hier die Vermehrung der sogen. „Fäulnisbakterien“, die namentlich die Eiweißstoffe unter Entwicklung übler Gerüche zersetzen, mehr oder minder vollkommen unterdrückt wird. Die sauren Weichkäse sowie längere Zeit aufbewahrte Milch resp. Sahne überziehen sich stets mit einem dichten, samtartigen Belag von Schimmelpilzen. Nicht selten ist es geradezu überraschend, wie sehr relativ kleine Änderungen in der Reaktion das Ergebnis total ändern können. Das ist nicht nur für die Arbeit im Laboratorium von großer Wichtigkeit. In der Molkerei, speziell in der Käseherstellung entscheidet der „Säuregrad“ der Milch, des Rahmes, des Lab-aufgusses usw., wenn auch nicht allein, so doch sehr wesentlich über Entwicklung und Wirksamkeit der vorhandenen Organismen, damit aber natürlich auch über die Qualität des entstehenden Produkts. Daß auch die Reaktion des Bodens für den Verlauf der darin sich abspielenden Mikroben-Tätigkeit von ausschlaggebender Bedeutung ist, darf wohl, wenigstens zum Teil, als bekannt vorausgesetzt werden. In einer der letzten Vorlesungen werde ich noch ein paar Bemerkungen in dieser Richtung zu machen haben. Ebenso komme ich in der achten Vorlesung etwas ausführlicher auf den konservierenden Einfluß größerer Säuremengen zu sprechen.

Zum Schluß einige Worte über die sogen. Reizstoffe. Aus eigenster Erfahrung wissen wir, daß bei den höheren Organismen gewisse Substanzen, trotzdem ihnen entweder nur ein geringer oder überhaupt kein Nährwert beizumessen ist, z. B. Alkohol und Nikotin, in nicht zu groß bemessenen Gaben doch entschieden fördernd auf den gesamten Stoffwechsel einwirken können. Ohne Zweifel spielen bei den Mikroorganismen derartige Reizwirkungen ebenfalls eine Rolle. Alle Gifte (Sublimat, Kupfersulfat usw.) wirken in starker Verdünnung als Reizstoffe. Doch darf nicht verschwiegen werden, daß manche Autoren eine gewisse Vorliebe für dieses besonders dunkle Gebiet hegen; jede nicht ohne weiteres erklärbare Förderung des Stoffwechsels bzw. der Bakterientätigkeit figuriert dann eben immer als — meist nicht minder unklare — „Reizwirkung“. Mehrfach haben sich derartige angebliche Reizwirkungen bei genauerer Prüfung als Ergebnis quantitativ oder qualitativ verbesserter Nährstoff-Zufuhr erwiesen. Hierher dürfte wohl u. a. der fördernde Einfluß zu rechnen sein, den kleine Zuckergaben auf die Salpeterbakterien ausüben, oder die in vielen Fällen hervortretenden günstigen Effekte eines Zusatzes kleiner Gaben von Mangan-, Zinksalzen usw.

G. BERTRAND hat kürzlich festgestellt, daß die „Reizwirkung“ der Mangansalze auch dann noch deutlich war, wenn nur 1 mg Mangan in 10000 Litern Nährlösung, also

in einer Verdünnung 1 : 10 Millionen vorhanden war¹⁾). Erinnern wir uns aber daran, daß auch Nährstoffe, wie Traubenzucker, Ammonsalze u. a., sogar noch bei viel weiter gehender Verdünnung einen deutlich wahrnehmbaren Einfluß ausüben können, so werden wir jene Zahl nicht besonders überraschend finden. Bedenken wir außerdem, daß jene anspruchslosen Wasserbakterien bereits durch relativ geringe Zuckerkonzentrationen geschädigt werden, hier also dieser typische Nährstoff bald beginnt, als „Gift“ zu wirken, so werden wir auch aus diesem Grunde der mitunter etwas allzu üppig ins Kraut schießenden „Reiz-Theorie“ ein wenig skeptisch gegenüber treten.

In der 25. Vorlesung werde ich noch kurz erörtern, inwiefern man die Tätigkeit der Bodenorganismen durch Anwendung von „Reizstoffen“ beeinflussen kann.

¹⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 154, 1912, p. 616.

5. Vorlesung.

Lebensbedingungen der vegetativen Formen (Schluß): Bedarf an Feuchtigkeit. Verhalten zum Sauerstoff (Atmung). Einfluß von Temperatur, Licht und sonstigen Einwirkungen. Symbiose und Antagonismus.

Bedarf an Feuchtigkeit. Wir wissen, daß die vegetativen Zellen der Mikroben sehr wasserreich sind, und daß sie ihre Nahrung im gelösten Zustande aufnehmen. Für Wachstum und Tätigkeit dieser Organismen müssen also stets relativ große Wassermengen zur Verfügung stehen. Die Bakterien sind in dieser Hinsicht in der Regel anspruchsvoller als die Schimmelpilze. Allgemein gültige Zahlen können selbstverständlich auch in diesem Falle nicht gegeben werden. Die begleitenden Umstände sind stets entscheidend.

In den meisten Kraftfuttermitteln, speziell bei den Rückständen der Ölfabrikation, stellen 12% Wasser die Grenze dar, oberhalb deren die Pilz-Entwicklung beginnt. Dagegen tritt hier erst bei etwa 30% Feuchtigkeit auch eine lebhafte Bakterientätigkeit hervor. Wir sehen infolgedessen zwar oft „verschimmeltes“, sehr selten aber geradezu „verfaultes“ Kraftfutter. Wird indessen die „Selbstzersetzung“ nicht gestört, so kann man wahrnehmen, daß das betreffende Futtermittel immer feuchter wird; der Pilzentwicklung folgt schließlich das Bakterienwachstum. Wie ist dieser Vorgang zu erklären? Nun, wir wissen, daß im Atmungsprozeß Kohlensäure und Wasser gebildet wird. Die Schimmelpilze veratmen das Fett und das dabei entstehende Wasser kondensiert sich an den feinen Futtermittel-Teilchen. Je länger solches Material lagert, umso fett-ärmer, aber wasser-reicher muß es werden. Zwei in geschlossenen Gefäßen zwei Jahre lang aufbewahrte Rübsenkuchen-Mehle zeigten folgende Zusammensetzung¹⁾:

In Prozenten der Trockensubstanz:	Fett		Wasser	
	in Probe I	in Probe II	in Probe I	in Probe II
Zu Beginn	10,53	8,50	12,45	12,31
Am Ende	1,98	1,87	21,94	23,42

¹⁾ RITTHAUSEN und BAUMANN, Landwirtschaftl. Versuchsstationen, Bd. 47, 1896, S. 389.

In praxi werden so weitgehende Umsetzungen ja kaum jemals zu beobachten sein. Diese Zahlen erklären uns aber, weshalb beim längeren Lagern zunächst tadellos erscheinendes Kraftfutter so oft warm und feucht werden, einen muffigen und ranzigen Geruch annehmen kann. Es sind das eben die Anzeichen der beginnenden Pilztätigkeit. Besteht das Futter, wie etwa Getreideschrot, z. T. selbst noch aus lebenden Pflanzenzellen, so wird deren Atmung natürlich an der Erwärmung und Wasserbildung mit beteiligt sein.

Wie sehr die Haltbarkeit der längere Zeit lagernden Vorräte an Heu, Stroh und Körnern von deren gründlicher Trocknung abhängt, ist allgemein bekannt. Auch hier liegt bei etwa 12% Wasser die Grenze, oberhalb deren Schimmelpilze zur Entwicklung kommen können. Wünschen wir dagegen, wie im Braunheu, eine lebhafte Zell- und Bakterien-Tätigkeit, so belassen wir dem Futter noch genügend Feuchtigkeit, d. h. etwa 40—45%.

Der lagernde Stalldünger zeigt uns ebenfalls deutlich, wie bei einem relativ geringen Feuchtigkeitsgrade — speziell im Schafdünger — die Schimmelpilze dominieren. Dagegen entfalten in den wasserreichen Mistsorten — z. B. in dem durchschnittlich rund 75% Wasser enthaltenden Rinderdünger — die Bakterien eine äußerst lebhafte Tätigkeit, die sich zwar nicht so sehr dem Auge, aber umso mehr der Nase äußerst eindrucksvoll darstellt.

Auch für den Verlauf der Käseriefung ist die im Käseteig enthaltene Feuchtigkeit von sehr großer Bedeutung. Von dem Molkegehalt hängt die Tätigkeit der säureproduzierenden Bakterien und infolgedessen der Säuregrad ab, nach dem sich, wie ich schon erwähnte, der Ausfall des Produkts vornehmlich richtet. Wir werden uns später ausführlich mit den die Käseriefung bedingenden Vorgängen bekannt zu machen haben. Hier sei nur vorläufig darauf hingewiesen, wie sehr viel deutlicher die Säurebildung und später die Käsestoff-Zersetzung in den Weichkäsen mit hohem Wassergehalt (60—70%) hervortritt als in den verhältnismäßig trockenen Hartkäsen. Immerhin enthalten auch sie noch hinreichend Feuchtigkeit (30—45%), sodaß die Bakterien ihre Tätigkeit in dem erwünschten Umfange ausüben können.

Wenden wir uns dem Boden zu, so sehen wir — in scheinbarem Widerspruch zu meinen bisherigen Ausführungen — daß hier schon 10—15% Wasser meist vollkommen ausreichen, um eine lebhafte Bakterientätigkeit in Gang zu halten. Wie gesagt, ist der Widerspruch nur scheinbar. Wür müssen nämlich berücksichtigen, daß es nicht darauf ankommt, wie viel vom Gesamtgewicht einer Substanz auf das Wasser entfällt; entscheidend ist vielmehr, wie viel von der wasserfassenden Kraft — der „Wasser-Kapazität“ — des Bodens resp. der

betreffenden Substanz, durch die vorhandene Feuchtigkeit gesättigt ist. Heu mit einem Wassergehalt von 12% erscheint uns vollständig trocken; es sind nur etwa 15—20% seiner Wasserkapazität gesättigt. Sand mit 12% Wasser erweist sich beim Anföhren schon recht feucht, denn im ganzen vermag er vielleicht nur 20 Gewichtsprozente Wasser aufzunehmen. Dagegen erscheint ein 12% Wasser enthaltender Ton- oder Moorböden fast oder vollkommen trocken, wiederum infolge seiner höheren Wasserkapazität (von etwa 30 oder 40%). Auf diese Relationen kommt es also stets an. Leider wurden und werden sie, auch bei wissenschaftlichen Arbeiten, meist nicht genügend beachtet. Und wenn man z. B. liest¹⁾), daß in der einen Erde noch bei 7,3 Gewichtsprozent Feuchtigkeit Salpeter gebildet wurde, in einer andern dagegen die Nitrifikation schon aufhörte, wenn der Wassergehalt auf 16,5% sank, so handelt es sich dabei nicht etwa um besondere Extravaganten der Salpeterbakterien; nur die differente Wasserkapazität der betreffenden Böden wurde nicht gebührend beachtet. Soweit dies aber geschah, hat sich in Übereinstimmung mit dem zuvor Gesagten herausgestellt, daß auch in der Erde das Feuchtigkeits-Optimum für die Bakterien etwa zwischen 50 bis 75% (der Wasserkapazität) gelegen ist. Natürlich bestehen im einzelnen allerhand Abstufungen. Vollständige Durchtränkung des Bodens mit Wasser läßt (im Sumpf und Schlamm) solche Arten in den Vordergrund treten, die im Kulturboden nicht überhandnehmen sollen. Oft leiden aber unsere Äcker und Wiesen unter Trockenheit, und eine Bewässerung wirkt dann nicht nur direkt, sondern auch indirekt — eben durch Förderung der Bakterientätigkeit — auf das Wachstum der Nutzpflanzen vorteilhaft ein. Bei zuviel Wasser nehmen dagegen die Protozoen überhand. Für den Kulturboden bzw. für dessen Bakterienflora ist dies — wie wir noch sehen werden — nicht erwünscht.

Stets kommt es also nicht so sehr auf das insgesamt vorhandene, als vielmehr auf das jeweils verfügbare Wasser an. Durch Erhöhung der Konzentration einer Zucker-, Salz-Lösung u. dgl. haben wir es deshalb in der Hand, auch an sich wasserreiche Substrate doch vor den Angriffen der Mikroorganismen zu schützen. Stark gezuckerte Obstkonserven, Melasse, gezuckerte kondensierte Milch, eingesalzene Heringe usw. sind sehr lange haltbar; auch das Salzen der Butter wirkt deutlich konservierend. Eine Lösung, die reich ist an Zucker oder Salz, verhält sich in physiologischer Hinsicht wie ein trockener Boden. Die an den zwar feuchten, aber salzreichen Meeresküsten wachsenden Strandpflanzen ähneln in ihrem Äußeren durchaus denjenigen Gewächsen, die

¹⁾ DEHÉRAIN, Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 125, 1897, p. 282.

in Steppen und Wüsten ihr Leben fristen. Demgemäß zeigt auch die Mikroflora salzreicher Böden mancherlei Besonderheiten.

In der achten Vorlesung werde ich noch einige Mitteilungen über diejenigen Mikroorganismen zu machen haben, die auch noch in recht konzentrierten Salzlaken wachsen können. Wie wir wissen, verderben ja sowohl stark gesalzene Butterproben wie auch eingesalzene Fische. Einstweilen seien hier nur als Beispiel für die erstaunlich hohen Konzentrationen, die von manchen Bakterienarten vertragen werden, die Resultate angeführt, die ZOPF für eine zufällig in Baumwollsaatmehl gefundene, im übrigen unwichtige Art (*Bacterium vernicosum*) ermittelte¹⁾). Diese Bakterie vertrug

70%	Rohrzucker	50%	Milchzucker	18—20%	Chlornatrium
	oder Dextrin		40%	Glyzerin	25—28% Magnesiumsulfat.

Beim Trocknen und Trocken-Aufbewahren der Nahrungs- und Futtermittel wird der Tatsache, daß ohne Wasser kein Leben möglich ist, praktisch in weitestem Umfange Rechnung getragen. Freilich ist es ja denen, die diese Methoden anwenden, nur selten klar, daß sie darauf hinarbeiten, Bakterien und Pilzen Wachstum und Tätigkeit unmöglich zu machen. Zu einer vollständigen Vernichtung der Mikroorganismen führt allerdings auch weit gehender und lange anhaltender Wassermangel nicht. Nicht nur die Dauerformen, auch die mit Schleimhüllen versehenen Bakterien, sowie sehr allgemein die Pilzfäden vertragen das Eintrocknen recht gut. Dagegen werden die Protozoen, soweit sie sich nicht enzymtieren, durch Trockenheit meist zum Absterben gebracht. Alle Zellen, die nicht zugrunde gehen, treten in den Zustand der „Trockenstarre“ ein; scheinbar tot, verharren sie so, bis sie durch die wiederkehrende Feuchtigkeit zu neuem Leben erweckt werden.

Für den regelmäßigen Ablauf aller Zersetzungsvorgänge in der Natur ist diese Tatsache selbstverständlich von großer Bedeutung. Würden die Bodenorganismen beim Austrocknen der Erde sämtlich absterben, so unterblieben, auch nachdem wieder Regen oder Bewässerung den Acker befeuchteten, doch alle jene Umsetzungen, die wir in ihrer Bedeutung für die Fruchtbarkeit des Bodens noch genauer kennen lernen werden. Namentlich für tropische Gebiete wäre es von größtem Nachteil, wenn die Mikroorganismen des Bodens nicht so leicht im Zustande der Trockenstarre lange regenlose Zeiten überdauern könnten. Manche Bakterienarten, in erster Linie die Salpeterbildner, sind allerdings ziemlich empfindlich, und so kann eine besonders ausgesprochene Dürre-Periode in mancher Hinsicht doch mitunter noch einige Zeit hindurch eine schädliche Nachwirkung äußern. Andrerseits können aber vorteilhafte Momente, wie das Absterben der Protozoen in der ausgetrockneten Erde, sowie Änderungen der Kolloid-Struktur des Bodens, diese Schädigungen nicht nur ausgleichen, sondern sogar zu einer Steigerung der Fruchtbarkeit Veranlassung geben.

¹⁾ Beiträge zur Physiologie und Morphologie niederer Organismen, Bd. 1, 1892, S. 80.

Die Art, in der das Austrocknen vor sich geht, ist von großer Bedeutung. Mehrfacher Wechsel zwischen Trocknen und Wiederauffeuchten schädigt gewöhnlich am meisten. Rasches Trocknen im luftverdünnten Raum wirkt relativ günstig. In Erde verteilte Bakterien vertragen das Austrocknen weit besser, als wenn sie sich an Glas, Seide, Watte u. dgl. befinden. Bei der Besprechung der Tauglichkeit verschiedener Impfkulturen werden wir uns dieser Tatsachen zu erinnern haben. Auch im Zimmer- und Straßenstaub sterben viele Bakterien ab, was mit Rücksicht auf etwaige Krankheitsübertragungen sehr von Vorteil ist. Besprengen des Straßenstaubes erhöht zwar dessen Gehalt an lebenden Keimen, ist aber aus anderen Gründen selbstverständlich von Nutzen.

Verhalten zum Sauerstoff (Atmung). Alle höheren Organismen bedürfen des freien Sauerstoffs zur Atmung. Dagegen zeigen sowohl Bakterien wie Protozoen in dieser Hinsicht z. T. ein abweichendes Verhalten. Manche Arten bedürfen zwar ebenfalls unbedingt des freien Sauerstoffs. Aber viele andere können sowohl bei Luftzutritt wie bei Luftabschluß gedeihen. Und für gewisse Arten ist der sonst so unentbehrliche Luft-Sauerstoff geradezu ein Gift, an das sie sich nur eventuell ganz allmählich anpassen können. Abb. 12 zeigt uns in $\frac{2}{5}$ der natürlichen Größe drei etwa zur Hälfte mit Nährgelatine gefüllte Standzylinder. Mittels einer Nadel ist in jedes Glas eine geringe Bakterienmenge eingeimpft worden, die sich zu einer charakteristischen „Stichkultur“ entwickelt hat. In dem einen Glas (a) ist nur in dem obersten Teil der Gelatine die weiße Bakterienmasse sichtbar geworden. In dem zweiten Zylinder (b) reicht das Wachstum von der Oberfläche bis zum Boden. Und im dritten Falle (c) ist es nur ganz unten zur Ausbildung einer flockigen, grauen Ansammlung gekommen.

PASTEUR, der auf dieses eigenartige Verhalten gewisser Mikroben zuerst aufmerksam wurde, nannte die beiden Gruppen der luftbedürftigen und der sauerstoffscheuen Organismen: „aérobies et anaérobies“¹⁾). Um auch für die zwischen den beiden Extremen stehenden, an Zahl entschieden überwiegenden Arten einen bequemen Ausdruck zu haben, ist es fast allgemein üblich geworden, von obligat aëroben, fakultativ anaëroben und obligat anaëroben Arten zu sprechen.

Diese sehr treffenden Bezeichnungen wurden von LIBORIUS eingeführt²⁾). Manche Autoren glaubten, die Angehörigen der Mittelgruppe, je nachdem sie mehr zur Aërobiose oder zur Anaërobiose neigten, noch genauer „fakultativ anaërob“ resp. „fakultativ aërob“ bezeichnen zu müssen. BEIJERINCK³⁾ ist der Ansicht, daß auch die obligat an-

¹⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 56, 1863, p. 1192, note 1. Die Ausdrücke sind zusammengezogen aus ἀέρι (Luft) und βίος (Leben).

²⁾ Zeitschrift f. Hygiene, Bd. 1, 1886, S. 115.

³⁾ Archives néerlandaises [Sér. 2], T. 2, 1899, p. 397.

aëroben Arten eine kleine Menge freien Sauerstoff nötig haben, und nennt sie deshalb „mikroaërophil“ (also: wenig Luft liebend). BURBI und KÜRSTEINER haben sich bemüht, diese Annahme zu widerlegen; selbst die fakultativ anaëroben Bakterien gediehen vollkommen normal, auch wenn sie dauernd im sauerstofffreien Raume gehalten wurden¹⁾. Natürlich bleibt die Frage offen, ob wirklich die allerletzten Spuren Sauerstoff fern gehalten wurden. Nach dem, was wir in der vierten Vorlesung über die

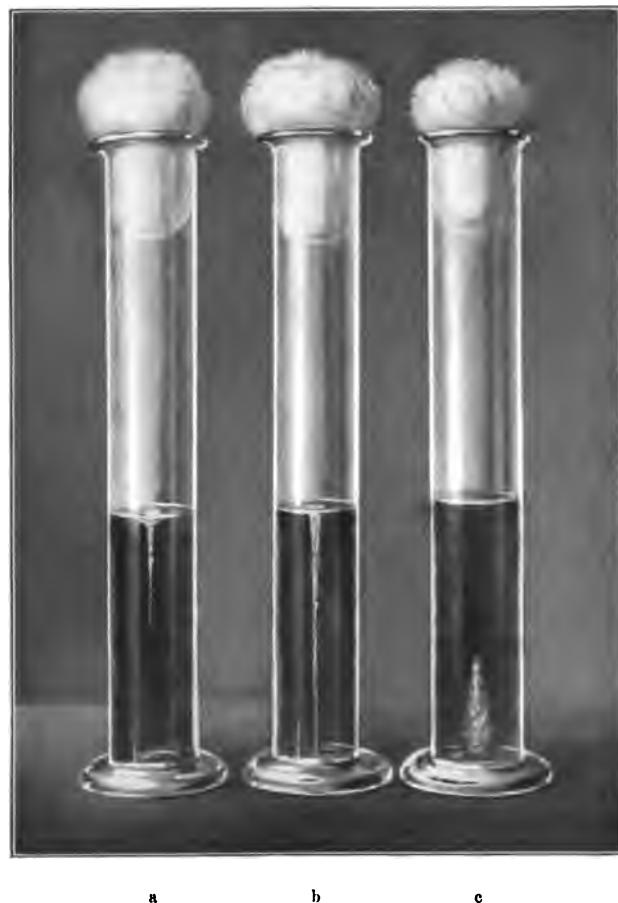


Abb. 12. Gelatine-Stichkulturen ($\frac{1}{5}$ nat. Gr.).
a aërobie, b fakultativ anaërobe, c obligat anaërobe Entwicklung.

Nähr- und Reizwirkung von unfaßbar geringen Spuren verschiedener Stoffe hörten, werden wir auch hier beide Möglichkeiten zugeben müssen. — Eine weitere von A. MEYER²⁾ in Vorschlag gebrachte Benennung ist: aërophil (luftliebend) und aërophob (luftfliehend).

¹⁾ Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 21, 1908, S. 289.

²⁾ Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Origin., Bd. 49, 1909, S. 305.

Worin liegt nun Zweck und Bedeutung der Anaërobiose? Ein Blick auf das Wirken der Mikroben im Stoffkreislauf läßt uns sofort die Antwort finden. In tiefen, wasserdurchtränkten Erdschichten eingeschlossene, organische Reste, z. B. Leichen, müßten durch die Jahrtausende hindurch unverändert erhalten bleiben, wenn nicht die Anaëroben hier ihre Tätigkeit entfalteten. Aber auch ein in den oberen Erdschichten oder direkt auf der Erdoberfläche liegender Kadaver würde nur relativ langsam der Zersetzung anheimfallen, wenn diese allein durch aërope Organismen durchgeführt werden müßte. Tatsächlich sind aber alle größeren Ansammlungen organischer Reste gewissermaßen dem „Kreuzfeuer“ aërober und anaërober Bakterien ausgesetzt. Der Abbau erfolgt sowohl von außen, wie von innen; daher die oft erstaunlich rasche Wirkung.

Mit Recht könnte hier eingewendet werden, daß doch wohl nur in seltenen Ausnahmefällen, z. B. kaum jemals in der Ackererde, so große Massen organischer Reste zu finden sind, daß von einem wirklichen Luftabschluß die Rede sein könnte. Im Gegenteil müßten eigentlich diese Anaëroben, wenn der freie Sauerstoff für sie so schädlich ist, in der gut durchlüfteten Ackererde verhältnismäßig rasch zugrunde gehen. Das wäre in der Tat so, und die Anaëroben blieben in der Natur auf bestimmte Stellen beschränkt, wenn nicht ein weiteres wichtiges Moment hier regulierend eingriffe. Wie schon PASTEUR s. Z. erkannt hat, schützen die aëroben Mikroben ihre anaëroben Genossen. Sie schaffen durch ihre intensive Atmungstätigkeit in ihrer Umgebung eine sauerstoffarme oder direkt sauerstofffreie Zone, in der sich die Anaëroben entwickeln können. Ich komme am Schluß dieser Vorlesung noch etwas näher auf dieses Zusammenleben von Aëroben und Anaëroben zurück. Außerdem ist aber auch die Tatsache sehr beachtenswert, daß die Anaëroben selbst, wenn sie erst einmal begonnen haben, sich kräftig zu entwickeln, viel weniger empfindlich gegenüber dem freien Sauerstoff sind¹⁾. Sobald sie genügend erstarkt sind, schützen sie sich gewissermaßen selbst. Daß sie schließlich noch weiter gehen und sich einer wirklich aëroben Lebensweise anpassen können, habe ich schon erwähnt²⁾.

Wie die Existenz der zahlreichen fakultativ anaëroben Arten klar vor Augen führt, gibt es zwischen strenger Anaërobiose bzw. Aërobiose alle Übergänge. Und schließlich werden auch sehr luftbedürftige Organismen durch allzu hohen Sauerstoffdruck (gewöhnlich 3—4 Atmosphären) geschädigt. Stets kommt die spezifische Emp-

¹⁾ Vgl. hierzu die interessanten, von BURRI und KÜRSTEINER im Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 21, 1908, S. 289 mitgeteilten Befunde.

²⁾ Wegen Einzelheiten s. KRUSE. Allgem. Mikrobiologie, 1910, S. 1146.

findlichkeit in Betracht. Einige von PORODKO¹⁾ ermittelte, hier auszugsweise wiedergegebene Zahlen mögen dies erläutern.

	Sauerstoff-Maximum in Atmosphären	Sauerstoff-Minimum in Volum-Prozent
<i>Bact. fluorescens</i> . . .	1,94—2,51	0,00016
<i>Sarcina lutea</i>	2,51—3,18	0,00015—0,06
<i>Penicillium glaucum</i> . .	3,22—3,63	0,06—0,66
<i>Bact. vulgare (Proteus)</i> .	3,63—4,85	0
<i>Bact. coli</i>	4,09—4,84	0
<i>Bact. prodigiosum</i> . . .	5,45—6,32	0

Dagegen lag nach CHUDIAKOWS Untersuchungen das Sauerstoff-Maximum für obligate Anaërobe bei 0,18—1,04 Volum-Prozent, also nur wenig höher wie das Sauerstoff-Minimum aërober Arten²⁾.

Hoher Druck der gewöhnlichen Luft wirkt dagegen auf aërobe und fakultativ anaërode Arten nur wenig schädlich. Eine schnelle Drucksteigerung auf 3000 Atmosphären wurde ziemlich gut vertragen, sechsmaliger rascher Wechsel wirkte allerdings stark lähmend³⁾.

Natürlich bedürfen alle Anaëroben so gut wie die Aëroben des Sauerstoffes zur Unterhaltung des Atmungsprozesses. Der Unterschied liegt nur darin, daß bei anaërober Lebensweise der gebundene an die Stelle des freien Sauerstoffes tritt. Am häufigsten sind es sauerstoffreiche organische Verbindungen, vor allem Zucker, die den Sauerstoff zur anaëroben Atmung liefern. Doch kann auch mineralischen Substanzen, z. B. Nitraten und Sulfaten der Sauerstoff entzogen werden. Es ist z. B. möglich, durch Zusatz von etwas Salpeter den Milchzucker im Käse vor den Angriffen gewisser, fakultativ anaërober Bakterien zu schützen. Finden diese keinen Salpeter vor, so zerlegen sie den Zucker unter starker Gasentwicklung und geben dadurch zu den unerwünschten Käse-Blähungen Veranlassung, über die ich in der 20. Vorlesung noch einiges sagen werde.

Zur annähernden Abschätzung des Keimgehaltes der Milch kann man sich der sogen. Reduktionsprobe bedienen, wie in der 16. Vorlesung näher gezeigt werden wird. Man kontrolliert hierbei, innerhalb welcher Zeit die mit einer bestimmten Menge Methylenblau oder einem anderen geeigneten organischen Farbstoff versetzte Milch ihre weiße Farbe wieder annimmt. Um einen Entzug des Sauerstoffes, eine wirkliche Reduktion handelt es sich indessen in diesem Falle nicht. Das meist benutzte Methylenblau (Tetramethylthionin-Chlorhydrat) enthält überhaupt keinen Sauerstoff. Sowohl hier, wie bei anderen derartigen Farbstoff-„Reduktionen“ ist das Verblassen der Farbe auf eine An- resp. Einlagerung von Wasserstoff-Atomen in das Molekül zurückzuführen, die bei anderen anaërob verlaufenden Zersetzung in Freiheit gesetzt werden.

Als Atmungsmaterial verwenden die Mikroorganismen in der Regel genau wie die höheren Pflanzen und Tiere organische Verbindungen. Bekanntlich ist es die durch die Sonnenstrahlen unserem

¹⁾ Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 41, 1904, S. 61.

²⁾ Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 4, 1898, S. 389.

³⁾ CHLOPIN und TAMMANN, Zeitschrift f. Hygiene, Bd. 45, 1903, S. 171.

Planeten zugeführte Energie, die von den grünen Gewächsen bei der Bildung dieser Substanzen aufgespeichert und bei deren Veratmung wieder frei gemacht, bzw. für den atmenden Organismus verfügbar wird. Einige Bakterien zeigen indessen auch hierbei ein prinzipiell abweichendes Verhalten. Sie beschaffen sich die benötigte Energie nicht, wie alle anderen Lebewesen durch Veratmen der mit Hilfe der Sonnenenergie aufgebauten, direkt oder indirekt den grünen Pflanzen entstammenden organischen Körper. Vielmehr benutzen sie zu diesem Zwecke Ammoniak oder Wasserstoff oder Schwefelwasserstoff, die zu salpetriger und Salpeter-Säure, resp. zu Wasser oder zu Schwefelsäure oxydiert werden. Das sind in der Tat sehr seltsame, physiologisch höchst interessante Modifikationen des Atmungsprozesses.

Mit den Umsetzungen selbst und den sie auslösenden Mikroben werden wir uns später eingehend zu beschäftigen haben. Hier will ich nur noch darauf hinweisen, daß allerdings möglicherweise auch von diesen Organismen die von ihnen selbst durch Assimilation der Kohlensäure gebildete organische Substanz veratmet wird. Diese Frage ist vorläufig noch offen. Aber wenn auch die Antwort bejahend ausfallen sollte, so würde doch jener Prozeß der „anorganischen Atmung“ nicht an Bedeutung verlieren. Er ist es, der den betreffenden Mikroben die benötigte Energie beschafft.

Wie ich früher dargelegt habe, sind die Bakterien infolge ihrer spezifischen Körperbeschaffenheit zu überraschend großen Leistungen disponiert. Dementsprechend ist auch die Atmungs-Intensität bei diesen Organismen in der Regel viel größer als bei anderen. Das ersehen wir aus folgenden Zahlen:

Es wurden aus je 1 g Trockensubstanz innerhalb 24 Stunden an CO_2 in mg produziert¹⁾:

Rüben	5	Clostridium gelatinosum ²⁾ . . .	480
Getreidewurzeln	63—135	Bact. Hartlebi	600
Penicillium glaucum . . .	130	Azotobacter chroococcum . . .	1270
Aspergillus niger	180	Bacillus extorquens	2500

Nehmen wir an, daß die frische Substanz bei Rüben, Schimmelpilzen und Bakterien rund 15, bei den Getreidewurzeln etwa 30% Trockensubstanz enthielt, so wurde an CO_2 pro Tag in % des eigenen Körpergewichts produziert:

durch die Rüben	0,075	durch die Schimmelpilze.	2—2,7
durch die Getreidewurzeln	1—2	durch die Bakterien	7—37,5

Auf die Bedeutung der Kohlensäure-Produktion durch die Mikroben des Bodens werde ich in der 24. Vorlesung zu sprechen kommen.

Desgleichen werde ich weiterhin wiederholt darauf hinzuweisen haben, wie außerordentlich wichtig die Existenz und die ungleiche Wir-

¹⁾ Die hier kurz zusammengefaßten Ergebnisse entstammen verschiedenen Untersuchungen von STOKLASA und dessen Mitarbeitern (Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 14, 1905, S. 727, Bd. 29, 1911, S. 401, 457, Berichte d. Deutsch. Botan. Gesellschaft, Bd. 24, 1906, S. 22, Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 46, 1908, S. 73, 80) sowie von BASSALIK (Zeitschr. f. Gärungsphysiologie, Bd. 2, 1912, S. 27).

²⁾ Eine schleimbildende Bazillen-Art.

kung aërober und anaërober Bakterien gerade für die Praxis des Landwirtschaftsbetriebes ist. Vorläufig mag es genügen, daran zu erinnern, wie sehr z. B. in den Sauерgruben und Futtersilos sowie imrottenden Dünger auf Luftabschluß, d. h. auf Förderung anaërober Tätigkeit geachtet werden muß. Andrerseits tragen wir durch gründliche Bearbeitung, nötigenfalls auch durch Entwässerung des Ackerlandes dafür Sorge, daß eine möglichst ausgiebige Durchlüftung stattfindet, die mit einer energischen Förderung aërober Prozesse gleichbedeutend ist. Die entgegengesetzten Verhältnisse und Wirkungen kann uns dagegen ein Stück versumpften Landes aufs deutlichste veranschaulichen.

Temperatur-Einfluß. Chemisch gesprochen handelt es sich bei den vegetativen Bakterien- und Pilzformen sowie bei den nicht enzymatisierten Protozoen um wasserreiches Eiweiß. Da Wasser bei 0° erstarrt und Eiweiß in der Hitze (bei 70 — 80° C) gerinnt, so ist zum mindesten eine aktive Lebens-Betätigung unterhalb wie oberhalb dieser Temperaturen ausgeschlossen. Schwache Bakterien-Entwicklung ist allerdings auch noch bei einer etwas unterhalb 0° liegenden Temperatur möglich, sofern die Umstände dahin wirken, daß das Wasser nicht sogleich gefriert. Derartige Möglichkeiten sind z. B. im Boden, in der im Kühlraum lagernden Butter und an anderen Stellen gegeben. Kommt es dagegen zur Eibildung, so ist zwar auch damit noch nicht ohne weiteres der Tod der Mikroben besiegelt, aber von einer irgend erheblichen Tätigkeit kann nicht mehr die Rede sein. Ist die Kälte nicht allzu groß, so können die etwa vorhandenen Enzyme zunächst weiterwirken. Das allmähliche Verderben der bei mehreren Graden unter 0° aufbewahrten Butter steht hiermit in Zusammenhang. Sehr tiefe Temperaturen unterbinden aber so gut wie jede Zersetzung-Erscheinung. Mammut-Kadaver haben sich deshalb im sibirischen Eise bis heute so frisch erhalten, daß dieses Jahrtausende alte Fleisch noch Liebhaber fand — wenigstens unter den Schlittenhunden der Expeditionen.

Langsame Abkühlung bzw. langsames Gefrieren tötet die Mikroorganismen im allgemeinen nicht. Nachteilig erweist sich dagegen, wie bei den höheren Pflanzen ein mehrfach wiederkehrender Wechsel von plötzlichem Gefrieren und Auftauen. Am empfindlichsten pflegen die Protozoen zu sein.

Man hat (sporenfreie) Bakterien wie Pilze längere Zeit ohne bemerkenswerte Schädigung in flüssiger Luft, ja sogar in flüssigem Wasserstoff (bei -252° C) gehalten¹⁾. Die Mikroflora in Erden aus dem hohen Norden zeigte keine wesentliche

¹⁾ A. MACFADYEN and S. ROWLAND, Proceedings of the Royal Society (London), vol. 66, 1900, p. 389, 448, vol. 71, 1902, p. 76; R. O. HERZOG und O. RIPKE, Zeitschrift f. physiolog. Chemie, Bd. 73, 1911, S. 284.

Abweichung von derjenigen des gemäßigten Klimas¹⁾). Milchsäurebakterien vertragen das Einfrieren in Milch ohne Nachteil²⁾.

In bei 0 oder unter 0° aufbewahrter Milch sowie in dem im Kühlraum gelagerten Käse wird das sonst ziemlich rasch eintretende Absterben der Milchsäurebakterien sogar sehr bedeutend hinausgeschoben. Daß gefrorene Gegenstände nach dem Auftauen oft besonders rascher Zersetzung anheimfallen, ist u. a. allerdings auch darauf zurückzuführen, daß sich an ihnen, sobald sie in einen wärmeren Raum gebracht werden, die umgebende Luftfeuchtigkeit und mit ihr zahlreiche Luftkeime niederschlagen. Das Beschlagen des Milchkühlers in der warmen Stalluft, in die er zwar nicht gehört, der er aber trotzdem noch oft ausgesetzt wird, zeigt dem bakteriologisch geschulten Auge aufs deutlichste, wie nachteilig derartige Temperaturdifferenzen auf die Höhe des Keimgehaltes der Milch einwirken müssen.

Manche Mikroben bevorzugen niedere, andere hohe Temperaturen. Jene pflegt man „psychrophil“ oder „kryophil“ (kälteliebend), diese „thermophil“ (wärmeliebend) zu nennen. Psychophile Arten können sich während des Winters im Boden, in der bei 0—5° C aufbewahrten Milch und Butter, sowie auf und in den im Eisschrank befindlichen Nahrungsmitteln unter Umständen sehr stark vermehren. Die wenig angenehm riechenden und schmeckenden Stoffe, die sie bilden, machen ihre Gegenwart kenntlich. Im gemäßigten Klima treffen wir in der Natur aus leicht begreiflichen Gründen vorwiegend auf solche Arten, deren Temperatur-Optimum etwa bei 10—20° C gelegen ist. Dagegen dominieren in den tropischen Gebieten diejenigen Mikroben, die sich bei 30° C und mehr am wohlsten fühlen. Für die meisten der in unsren Äckern tätigen Organismen wird man die obere Wachstumsgrenze bei 40° C ziehen können. Dagegen sind in den heißen Ländern auch die eigentlich thermophilen Bakterien und Pilze in großer Menge im Boden anzutreffen. Für sie liegt das Temperatur-Minimum bei ca. 35°, das Optimum bei 50—65°, das Maximum bei 75—80° C. In den kälteren Klimaten trifft man auf diese eigenartigen Mikroben, außer in warmen Quellen, besonders in größeren Ansammlungen organischer Massen, die zur „Selbsterhitzung“ neigen (Stalldünger, Braunheu, feucht geerntetes Getreide oder Heu, Spinnerei-Abfälle usw.). Diese „Selbsterhitzung“ ist eben, wenigstens zum Teil, das Resultat der mit der zersetzenden Tätigkeit der Thermophilen verknüpften Wärmeproduktion.

Durch eine ganze Anzahl von Untersuchungen, die ich in meinem „Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie“ näher besprochen habe, ist festgestellt worden, daß speziell in der Milch und im Boden bei den dem Gefrierpunkt naheliegenden Temperaturen eine recht lebhafte Bakterien-Vermehrung möglich ist. Einige von LEBERKE in meinem Laboratorium ausgeführte Zählungen ließen u. a. erkennen, daß die Keimzahl in Milch, während einer 4-wöchigen Aufbewahrung bei 0° von ca. 2 auf 4500 Millionen (pro ccm) ansteigen kann. Im Boden wird sowohl die Kohlensäureproduktion wie die Ammoniabildung durch diese tiefen Temperaturen noch nicht vollkommen gehemmt;

¹⁾ SEVERIN, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 25, 1909/10, S. 470.

²⁾ BUDINOW, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 34, 1912, S. 183.

andererseits lösen auch die thermophilen Organismen die gleichen Prozesse aus. Im Gegensatz hierzu sind die durch die Temperatur bestimmten Wachstumsgrenzen bei den Salpeterbakterien wesentlich enger gezogen. Die Folge ist, daß sowohl im kalten, wie im sehr warmen Boden eine vorübergehende Anhäufung von Ammoniak konstatiert werden kann. Die typischen Milchsäurebakterien sind unterhalb 10° fast gar nicht tätig; kalt gehaltene Milch besitzt demnach eine ziemlich abweichende Mikroflora, die z. T. an diejenige pasteurisierter Milch erinnert, in der ebenfalls an Stelle der hier durch die Erhitzung abgetöteten Milchsäurebakterien allerhand andere Keime eventuell stark überhandnehmen.

Abnorm empfindlich gegen niedere Temperaturen sind die thermophilen Organismen. Sie sterben z. T. bereits innerhalb eines Tages ab, auch wenn sich die Wärme noch bei ca. 5° C hält.

Mit welcher Schnelligkeit bei einem sehr häufigen Erd-Bazillus (*B. ramosus* oder *mycoides*) die Vermehrung bei verschiedenen Temperaturen von statthen geht, wurde von MARSHALL WARD mit folgendem Ergebnis festgestellt¹⁾.

Die für jede Verdoppelung nötige Zeit belief sich

bei 5—6° C auf viele Hundert Minuten	bei 20° C " 22° "	auf 60—70 Min. 50 "
„ 10—12° C auf 300—400 Min.	„ 24—26° C „ 40 „	
„ 14° C „ 200 „	„ 28—37° „ „ 30—35 „	
„ 16° „ „ 100 „	„ 39—40° „ „ war die obere	
„ 18° „ „ 70—80 „		Wachstumsgrenze erreicht.

Wie die anderen Eigenschaften sind auch die Temperatur-Ansprüche der verschiedenen Arten nicht völlig konstant. Sowohl nach oben, wie nach unten hin sind Anpassungen möglich. Verschlechterungen der übrigen Existenzbedingungen verengern naturgemäß die sonst innegehaltenen Temperaturgrenzen. Unter besonders günstigen Umständen können sie dagegen eine wesentliche Erweiterung erfahren.

Einfluß des Lichts. Ein bekanntes Sprichwort sagt: „Wo die Sonne nicht hinkommt, kommt der Arzt hin“. In der Tat haben zahlreiche Versuche erwiesen, daß das direkte Sonnenlicht gerade auf die Krankheitserreger im allgemeinen rasch tödend, also desinfizierend wirkt. Die landwirtschaftlich wichtigen Mikroben sind gewöhnlich weniger empfindlich; immerhin muß man z. B. bei Bodenimpfungen ebenfalls einer etwaigen schädlichen Lichtwirkung Rechnung tragen. Diffuses Tageslicht ist in der Regel ohne Einfluß. In einigen seltenen Fällen werden allerdings auch manche Bakterien und Pilze durch das Licht in dieser oder jener Hinsicht gefördert. Durchaus notwendig — wie die grünen Gewächse — haben es indessen auch diese Arten nicht²⁾.

Bei der Selbstreinigung der Flüsse und sonstiger Gewässer spielt die bakterientötende Wirkung des Lichtes eine mitunter recht deutlich hervortretende Rolle. Auch in den obersten Erdschichten sinkt die Keimzahl bei intensivem Sonnenschein. Z. B. wurde in einer 1 mm starken Lage als Folge 5 stündiger Belichtung ein Rückgang

¹⁾ Proceedings of the Royal Society (London), vol. 58, 1895, p. 265.

²⁾ Wegen dieser für uns wenig wichtigen Ausnahmefälle vgl. KRUSE, Allgemeine Mikrobiologie, 1910, S. 152 und 647.

bis auf $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{6}$ des ursprünglichen Bakteriengehalts nachgewiesen¹⁾). Recht empfindlich sind die Salpeterbakterien. In mit verdünntem Harn befeuchteten, in flacher Schicht ausgebreiteten Kiesproben wurden folgende Stickstoffmengen (in mg) nitrifiziert²⁾.

	Versuch I	Versuch II
belichtet	19	110
nicht belichtet	86	360

Nützlich kann die Belichtung des Bodens dadurch wirken, daß sie die Erdalgen zu lebhaftem Wachstum anregt. Die von ihnen produzierten organischen Substanzen können sich die stickstoffbindenden Bodenbakterien z. T. zunutze machen.

Wie das Sonnenlicht die Chlorophyll-Tätigkeit fördert, die Bakterien-Entwicklung aber hemmt, so tun dies in noch verstärktem Maße die ultravioletten Strahlen. Man hat sie in verschiedener Richtung und mit wechselndem Erfolge zur Abtötung der Bakterien in Flüssigkeiten benutzt. In der 8. Vorlesung werde ich einiges hierüber mitteilen.

Der Mechanismus der schädlichen Wirkung des Lichts und der ultravioletten Strahlen ist noch nicht völlig geklärt und jedenfalls auch nicht einheitlicher Natur. Unter Umständen kann die Bildung des desinfizierend wirkenden Wasserstoffsuperoxyds in Frage kommen. Oder es entstehen andere, namentlich saure Stoffe (z. B. Ameisensäure) im belichteten Substrat. Deren Bildung trägt z. B. dazu bei, daß im Laboratorium längere Zeit am Lichte aufbewahrte, organische Nährböden für Kulturzwecke weniger geeignet oder ganz untauglich werden. Abgesehen von diesen indirekten, ist aber auch noch mit direkten, schädlichen Einwirkungen der Strahlen auf das Bakterien-Eiweiß selbst zu rechnen.

Sonstige Einwirkungen. Neben Nahrung und Feuchtigkeit, Wärme, Luft und Licht können noch zahlreiche andere Momente wie auf das Leben der höheren so auch der niederen Organismen günstig oder ungünstig einwirken.

Röntgenstrahlen haben sich als fast oder völlig wirkungslos³⁾, Radiumstrahlen als in mäßigem Grade schädlich erwiesen⁴⁾; die bestrahlten Bakterien werden selbst radioaktiv⁵⁾. Etwa bemerkte fördernde oder hemmende Einflüsse des elektrischen Stromes konnten stets auf chemische (elektrolytische) oder physikalische Ursachen (Erwärmung) zurückgeführt werden⁶⁾. Auch der Schwerkraft hat man einen besonderen Einfluß auf das Wachstum der Bakterien zuschreiben wollen. In den Gelatine-Stichkulturen gewisser Bakterien-Arten (*Proteus*-Varietäten, *Bac. myroides* u. a.) kommt es oft zur Ausbildung zarter seitlicher Ausläufer, die in einem bestimmten Winkel von ihrer Ursprungsstelle nach aufwärts streben. Die ganze Kultur hat dann etwa das Aussehen eines umgekehrten Tannenbäumchens. Man glaubte, daß hier ein „negativer Geotropis-

¹⁾ KEDZIOR, Archiv f. Hygiene, Bd. 36, 1899, S. 323.

²⁾ SOYKA, Zeitschrift f. Biologie, Bd. 14, 1878, S. 466.

³⁾ M. BECK und P. SCHULTZ, Zeitschr. f. Hygiene, Bd. 23, 1896, S. 495; J. WITTLIN, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 2, 1896, S. 676.

⁴⁾ W. HOFFMANN, Hygienische Rundschau, Bd. 13, 1903, S. 913; R. PFEIFFER und E. FRIEDBERGER, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Referate Bd. 34, 1904, S. 395; A. R. GREEN, Proceedings of the Royal Society (London), vol. 73, 1904, p. 375.

⁵⁾ In der vorstehend zitierten Arbeit von A. R. GREEN finden sich interessante Photogramme.

⁶⁾ K. B. LEHMANN und F. ZIERLER, Archiv f. Hygiene, Bd. 46, 1903, S. 221.

mus" im Spiele sei. Später hat sich indessen herausgestellt, daß lediglich die jeweils vorhandene elastische Beschaffenheit der Gelatine richtunggebend wirkt; man spricht infolgedessen jetzt von einer „Elasticotropie“¹⁾.

Mechanische Erschütterungen haben sich teils wirkungslos, teils schädlich, teils aber auch nützlich erwiesen. Besonders wenn die vorher in Zellverbänden oder in Kolonien eng beieinander lagernden Zellen durch die mechanischen Bewegungen im Substrat verteilt und dabei mit viel neuem Nahrungsmaterial in Berührung gebracht werden, kann eine deutliche Steigerung von Wachstum und Tätigkeit Platz greifen. Beim Zentrifugieren der Milch, bei der Düngerpflege und bei der Bodenbearbeitung spielen diese Vorgänge eine beachtenswerte Rolle.

Bei passender Gelegenheit werde ich noch das Wissenswerteste über diese Dinge mitteilen²⁾. Einstweilen seien zur Illustrierung folgende zwei Versuche angeführt. Th. SCHLÖSING jun. bestimmte die Gasmengen, die je zwei in Flaschen befindliche Düngerproben lieferten, je nachdem sie geschüttelt wurden oder nicht³⁾. In der ersten 10-tägigen Periode blieben alle 4 Proben unberührt, in der zweiten Periode von 13 Tagen wurden die Proben 2 und 4 und in dem dritten 26-tägigen Zeitraume die Proben 1 und 3 je zweimal geschüttelt. Es wurde produziert

Gas aus	1. bis 10. Tag	11. bis 23. Tag	24. bis 49. Tag
Dünger-Probe 1 und 3	620,2 ccm	460,2 ccm	546,9 ccm
" 2 4	620,5 "	605,8 "	466,8 "

DEHÉRAIN ließ drei verschiedene Erden, die sich schon mehrere Jahre in Töpfen befunden hatten, z. T. unberührt in den Gefäßen, z. T. wurden sie während 6 Wochen mehrfach durchgearbeitet⁴⁾. Am Schluß des Versuches fanden sich in je 100 g Erde folgende Salpeter-Mengen:

	Erde I	Erde II	Erde III
Nicht bearbeitet .	2—3	2	2
Bearbeitet . . .	39—44	46—51	57—71

Noch wenig geklärt sind im einzelnen die Ursachen der teils förderlichen, teils nachteiligen Einwirkungen, welche Düngung, Jahreszeit und Pflanzenbestand auf die tierischen und pflanzlichen Mikroben des Bodens ausüben können. Manche dieser Erscheinungen, die uns in der 23. Vorlesung näher beschäftigen werden, sind ja unschwer chemisch oder physikalisch zu erklären. Temperatur und Feuchtigkeit der Erde sowie Änderungen in der Zusammensetzung und Reaktion der Bodenflüssigkeit sind in erster Linie in Betracht zu ziehen. In anderen Fällen ist es dagegen noch nicht gelungen, den inneren Zusammenhang hinreichend zu klären. Es liegt auf der Hand, daß es sich hier um

¹⁾ H. ZIKES, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 11, 1903, S. 59; H. C. JACOBSEN, ebenda, Bd. 17, 1906, S. 53; H. KUFFERATH, Annales de l'Institut Pasteur, T. 25, 1911, p. 601.

²⁾ Eine Zusammenstellung der einander vielfach widersprechenden Beobachtungen veröffentlichte GUTZEIT im Milchwirtschaftl. Centralbl., Bd. 7, 1911, S. 193.

³⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 125, 1897, p. 40.

⁴⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 116, 1893, p. 1094.

äußerst wichtige, leider aber oft auch um sehr schwierig einwandfrei erkennbare und erklärbare Tatsachen handelt.

Bei Untersuchungen, deren Hauptergebnisse in der 23. Vorlesung angeführt werden sollen, konnte ich vor einer Reihe von Jahren feststellen, daß die Jahreszeit einen sehr markanten Einfluß auf die verschiedenen, im Boden vonstatten gehenden Umsetzungen ausübt, und zwar ziemlich unabhängig von Temperatur und Feuchtigkeit. Besonders zeigte die Salpeterbildung schon im zeitigen Frühjahr eine auffallende Zunahme zu einer Zeit, in der sie mit Rücksicht auf die noch sehr tiefe Temperatur eigentlich gar nicht zu erwarten war. A. MÜNTZ hat neuerdings den interessanten Nachweis erbracht, daß dieses Erwachen der Bodentätigkeit, „le reveil de terre“, wie er es nennt, im Frühjahr auch dann in gleicher Weise bemerkbar wird, wenn man die Erde dauernd bei konstanter, tiefer Temperatur aufbewahrt¹⁾.

Ebenso wie zwischen den grünen Gewächsen und den Mikroorganismen können sich bekanntlich auch zwischen den Tieren und den Bakterien, Pilzen sowie Protozoen vorteilhafte und nachteilige Wechselbeziehungen herausstellen. Das gleiche gilt selbstverständlich auch innerhalb des Reiches der Mikroorganismen selbst. Es handelt sich hier um jene sehr wichtigen symbiotischen und antagonistischen Prozesse, über die ich wenigstens das ganz besonders Wissenswerte noch kurz hervorheben will.

Symbiose und Antagonismus. Das zwischen Leguminosen und Knöllchenbakterien bestehende Wechselverhältnis ist das bekannteste Beispiel einer „Symbiose“²⁾). Dagegen liefert uns der Kampf zwischen dem tierischen Organismus und den in ihn eindringenden krankheitserregenden Bakterien das typische Bild des „Antagonismus“³⁾). Über diese beiden Vorgänge werde ich später ausführlich zu sprechen haben. Hier soll zunächst nur von Symbiosen und Antagonismus der Mikroorganismen die Rede sein.

Ein amerikanischer Bakteriologe, CHARLES MARSHALL, hat mit Recht einmal betont, daß die bisher bevorzugte Art des mikrobiologischen Studiums, die vor allem darauf hinausläuft, die Eigenschaften der einzelnen Spezies (in „Reinkultur“) zu studieren, zu ähnlichen Schlüssen führen müsse, als wenn wir den einzelnen Menschen, losgelöst aus der menschlichen Gesellschaft, studieren wollten, um dadurch einen Einblick in seine sozialen Beziehungen zu erlangen⁴⁾). Besonders, soweit es sich um landwirtschaftlich-bakteriologische Fragen handelt, können wir uns in der Tat zweifellos nicht auf solche Einzelforschung beschränken, obwohl diese allerdings für alle Zeit die unentbehrliche,

¹⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 154, 1912, p. 163.

²⁾ η συμβίωσις = das Zusammenleben.

³⁾ ὁ ἀνταγωνιστής = der Gegenkämpfer. Manche Autoren sprechen auch von einer „Enantibiose“, d. h. Gegeneinander-Leben (ταντίος = gegeneinander).

⁴⁾ Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 11, 1904, S. 740: „our conclusions might be like studying man apart from society in order to obtain his social relations“.

sichere Grundlage für jede weitergehende Forschung bleiben wird. Bei der Erörterung der Leistungen der Mikroorganismen werde ich verschiedene Beispiele für die oft ungemein überraschenden Resultate symbiotischer Wirksamkeit anzuführen haben. Aber auch in bezug auf das Leben der Mikroorganismen selbst sind diese Wechselbeziehungen von großer Wichtigkeit.

Die gegenseitigen Förderungen und Schädigungen können sich in den allerverschiedensten Richtungen geltend machen. Auf die schützende Wirkung, die aërobae Arten auf anaërobae Arten ausüben, wies ich bereits hin. Neben dem direkten Sauerstoff-Entzug durch die aëroben Organismen selbst, können in gewissen Fällen auch noch ihre Stoffwechselprodukte schützend wirken¹⁾. Mancherlei Stoffwechselprodukte, meist noch ganz unbekannter Art, sind es auch, die dahin wirken, daß z. B. die verschiedenen Keime eines in Gelatine-Schalen eingesäten Bakterien-Gemisches nur teilweise, dann aber eventuell zu besonders kräftigen Kolonien heranwachsen. Die in die Umgebung abgesonderten Stoffwechselprodukte sowohl eigener wie fremder Herkunft können eben sowohl fördernd wie hemmend wirken.

Wenn, wie wir bereits wissen, in zuckerhaltigen Substraten die typische stinkende Fäulnis meist nicht hervortritt, so ist dies allein oder doch ganz überwiegend der die Fäulnisbakterien schädigenden sauren Reaktion zu verdanken, die von den vom Zucker lebenden säureproduzierenden Mikroben hervorgerufen wird. Die Symbiose von Algen und stickstoffbindenden Bakterien stellt ein Gegenstück zur Symbiose von Leguminosen und Knöllchenbakterien dar; Versorgung mit kohlenstoffhaltiger Substanz auf der einen, mit stickstoffhaltigen Assimilationsprodukten auf der anderen Seite sind hier wie dort die Grundlage des gemeinschaftlichen Gedeihens. Auch die spezifischen Ansprüche an die Temperatur können, wie das z. B. RUBINSKY in meinem Laboratorium für das Kumißbakterium feststellte, bei Symbiose andere sein, als in Reinkultur. Kurz, es gibt kaum irgend etwas im Leben der Mikroben, was nicht durch symbiotische oder antagonistische Einwirkungen mehr oder minder weitgehend abgeändert werden könnte. Das ist, wie gesagt, nicht allzu überraschend, wenn wir uns als Gegenstück hierzu die entsprechenden, oft nicht minder auffallenden Parallelen im Leben der höheren Organismen vergegenwärtigen. Es ist aber jedenfalls ein Punkt, der fortgesetzte Aufmerksamkeit verdient, und der die bakteriologische Forschung noch sehr eingehend beschäftigen wird.

¹⁾ BIENSTOCK, Annales de l'Institut Pasteur, T. 17, 1903, p. 850.

6. Vorlesung.

Existenzbedingungen der Dauerformen. — Verbreitung der Mikroorganismen. Standorts-Varietäten.

Existenzbedingungen der Dauerformen. Die vollständig entwickelten Sporen befinden sich — als Dauerformen — im Zustande des Scheintodes. Irgend welche Lebensäußerungen sind an ihnen nicht wahrzunehmen. Die im normalen Verlauf der Dinge wechselnden Lebensbedingungen sind für sie ohne wesentliche Bedeutung. Anders ist das natürlich am Beginn und am Ende ihrer Existenz, beim Übergange aus dem vegetativen in den Sporen-Zustand und umgekehrt, d. h. bei der Sporenbildung und bei der Sporenkeimung. Ganz allgemein können wir sagen: Soweit Sporen überhaupt gebildet werden, entstehen sie in größter Menge und Regelmäßigkeit dann, wenn die für die vegetativen Formen günstigen Lebensbedingungen allmählich anfangen, für diese ungünstig zu werden. Andrerseits ist auf ein Auskeimen der Dauerformen dann zu rechnen, wenn sich wieder für die Existenz der vegetativen Formen geeignete Verhältnisse eingestellt haben. Die Analogie mit den höheren Pflanzen tritt auch hier ziemlich deutlich hervor. Das Reifen der Getreidesamen auf dem Felde und deren Keimen im Boden zeigt manchen ähnlichen Zug.

Sind die Existenzbedingungen dauernd wenig günstig, oder werden sie plötzlich sehr ungünstig, so kann natürlich die Bildung der Dauerformen entweder überhaupt nicht oder doch nur in unvollkommener Weise vor sich gehen; — es tritt „Notreife“ ein. Ausschließlich normal entwickelte, hinreichend ernährte vegetative Zellen sind imstande, voll ausgebildete Sporen zu produzieren. Fördernd wirkt im allgemeinen langsames Eintrocknen oder allmäßlicher Nahrungsentzug, z. B. das Übertragen von bis dahin kräftig ernährten Kulturen in Leitungswasser oder auf feuchte Gipsblöcke. Plötzliche, tiefgreifende Schädigungen wirken selbstverständlich störend. Ebenso sind dauernd schwach ernährte, nahe den Wachstumsgrenzen gehaltene oder in anderer

Weise — z. B. durch Zusatz von eben noch erträglichen Giftmengen zum Nährboden — geschwächte Zuchten, nicht in der Lage, die zur Sporenbildung erforderlichen Eiweißmengen zur Verfügung zu stellen. Insbesondere kann durch längere Kultivierung bei überoptimaler Temperatur die Befähigung zur Sporenbildung allmählich vollkommen unterdrückt werden. Das ist z. B. beim Milzbrand-Bazillus mehrfach experimentell festgestellt worden.

Die für die Sporenbildung maßgebenden Einzelheiten sind u. a. von O. SCHREIBER¹⁾ und MATZUSCHITA²⁾ ausführlich erörtert worden. Im allgemeinen ist (sehr begreiflicher Weise) das Wachstum gegenüber nachteiligen Einflüssen weniger empfindlich als die Sporenbildung. Das ist speziell in bezug auf die Temperatur-Minima und -Maxima sowie hinsichtlich der Einwirkung des Lichtes eingehend festgestellt worden³⁾. Bemerkenswert ist vielleicht noch, daß bei obligat und fakultativ Anaeroben der Zutritt von Sauerstoff stimulierend auf die Sporenbildung wirkt. — Wegen der im Laboratorium mitunter nötigen Auslese sporogener Rassen ist das auf S. 41 Gesagte zu vergleichen.

Daß und weshalb das Auskeimen der Sporen im reinen Wasser in der Regel unterbleibt, brauche ich wohl nicht speziell auseinander zu setzen. Nur wenn sich die zusagenden Nährstoffe in passender Menge im Substrat vorfinden, und auch die sonstigen Vorbedingungen gegeben sind, können neue, lebenskräftige vegetative Zellen aus den Dauerformen entstehen.

Zwei Fälle von eigenartig abgekürzten Entwicklungsgängen seien hier nebenbei erwähnt. SOROKIN fand in der Faulflüssigkeit im Innern einer alten Pappel ein sporenbildendes Spirillum, dessen Sporen bereits wieder auskeimten, noch bevor sie die alten Zellen verlassen hatten⁴⁾. Als Gegenstück hierzu hat man gelegentlich, sowohl bei Hefen wie bei Bakterien, gesehen, daß es schon in der Spore selbst, bzw. in dem eben die Spore verlassenden Keimstäbchen sogleich wieder zur Sporenbildung kommen kann⁵⁾.

Die Widerstandsfähigkeit der voll ausgebildeten Sporen gegenüber allen möglichen ungünstigen äußeren Einflüssen ist meist sehr bedeutend, mitunter geradezu überraschend groß. Das Erstaunlichste leisten in dieser Hinsicht jedenfalls gewisse Bakterien-Sporen. Etwas weniger, aber doch auch noch recht resistent sind im allgemeinen die Dauerformen der Pilze. Dagegen werden die enzystierten Protozoen in dieser „Rangordnung“ meist auf den unteren Stufen zu finden sein.

Trockenheit und tiefe Temperaturen, die schon den vegetativen Formen gewöhnlich nicht viel anhaben können, sind gegenüber den Sporen so gut wie wirkungslos.

¹⁾ Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Bd. 20, 1896, S. 353.

²⁾ Archiv f. Hygiene, Bd. 43, 1902, S. 267.

³⁾ Ausnahmen kommen vor, sind aber selten. Vgl. hierzu (betr. Temperatur) O. BLAU, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 15, 1905, S. 107.

⁴⁾ SOROKIN, Centralblatt f. Bakteriologie, Bd. 1, 1887, S. 465.

⁵⁾ E. CHR. HANSEN, Compte rendu des travaux du Laboratoire de Carlsberg, T. 5, 1902, p. 64, ref. Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 10, 1903, S. 125 (Hefespore als Sporenmutterzelle); GARBOWSKI, Biologisches Centralblatt, Bd. 27, 1907, S. 717 (sporenbildende Keimstäbchen bei *Bac. asterosporus* und *tumescens*).

Der Temperatur des flüssigen Wasserstoffs (— 253° C) leisteten Schimmelpilz-Sporen lange Widerstand; ebenso verhielten sich übrigens auch vollkommen trockene Samen höherer Pflanzen^{1).}

Wasserdampf von ca. 100° C wird in der Regel mehrere Minuten ohne Schaden ertragen. Die Sporen einiger, namentlich im Boden ziemlich häufig vorkommender Arten aus der Gruppe der „Heu- und Kartoffelbazillen“ halten jedoch unter diesen Bedingungen stundenlang aus (bis 15 Stunden und mehr). Dagegen tötet gespannter Dampf von etwa 130° C (2 Atmosphären Überdruck) sehr rasch auch die resistentesten Sporen. Heiße trockene Luft wird bis auf 140—160° C vertragen, in einzelnen Fällen aber — besonders wenn die Sporen in größeren Erdmengen verteilt sind — selbst bis auf 200° C.

Allerhand spezielle Angaben über die Tötungszeit der Sporen zahlreicher Bakterien-Arten finden sich in den Veröffentlichungen ARTHUR MEYERS und seiner Schüler^{2).} An Analogien fehlt es im Bereich der höheren Organismen in dieser Richtung ebenfalls nicht. Z. B. vertrugen *Medicago*-Samen mehrere Stunden feuchte Hitze von 100° und $\frac{1}{2}$ Stunde eine solche von 120° C^{3).}

In der vorigen Vorlesung wies ich darauf hin, daß vegetative (sporenfreie) Zellen das Austrocknen vor allem dann gut vertragen, wenn sie sich in Erde befinden. Mit den Sporen ist das ganz ebenso. Die Resistenz wurde bei auf Erde eingetrockneten Dauerformen wesentlich höher gefunden als bei auf Watte, Seide oder Hollundermark befindlichem Material^{4).}

Die äußerste Hartnäckigkeit gegenüber den schwersten Eingriffen zeigten aber die Sporen einiger Rassen des überall in Erde vorkommenden „Kartoffelbazillus“ (*Bacillus mesentericus*), die gelegentlich einmal im Kalkscheideschlamm einer Zuckerfabrik angetroffen wurden^{5).} Sie vertrugen nämlich:

in Scheideschlamm: 30 Minuten lang die Einwirkung heißer Luft von 310—320° C,
an Seidenfäden: 20—25 Stunden lang die Einwirkung des strömenden Dampfes von
ca. 100° C, resp. 20—30 Minuten dauerndes Kochen in 10-proz. Soda-Lösung,
in 4-proz. Natronlauge oder in 4-proz. Salzsäure.

Glücklicherweise ist ein solches Verhalten durchaus abnorm. Wäre es häufiger, so stiegen die Schwierigkeiten, die sich einer durchgreifenden Abtötung aller Keime ohnehin oft recht störend entgegenstellen, ins Un-

¹⁾ P. BECQUEREL, Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 148, 1909, p. 1052, T. 150, 1910, p. 1437.

²⁾ A. MEYER, Praktikum der botanischen Bakterienkunde, 1903, S. 181; E. NEIDE, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 12, 1904, S. 2; O. BLAU, ebenda, Bd. 15, 1905, S. 112.

³⁾ SCHNEIDER-ORELLI, Flora, Bd. 100, 1910, S. 305.

⁴⁾ K. VON WAHL, Berichte der Versuchsstat. Augustenberg, 1903, S. 85, ref. Jahresberichte üb. d. Fortschritte auf d. Gebiete d. Gärungsorganismen, Bd. 15, S. 169.

⁵⁾ ZETTNOW, Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Origin., Bd. 66, 1912, S. 181. Bei der Fortzüchtung im Laboratorium ging die Resistenz ziemlich rasch zurück.

gemessene. In der 8. Vorlesung werde ich darzulegen haben, daß schon die normale Resistenz der Sporen die sichere Sterilisierung der im Laboratorium verwendeten Nährböden, der Fleisch-, Milch- und Gemüse-Konserven usw. gerade genug erschwert.

Verbreitung der Mikroorganismen. Zur Erläuterung dessen, was ich in dieser und in den beiden voraufgegangenen Vorlesungen mitgeteilt habe, sowie zur weiteren, allgemeinen Orientierung möchte ich hier zunächst einige Bemerkungen einflechten über die Verbreitung der Mikroorganismen in der Natur und speziell im landwirtschaftlichen Betriebe. Spezielleren Fragen dieser Art werden wir allerdings erst in späteren Vorlesungen näher treten¹⁾.

Die Lebensansprüche der niederen Organismen zeigen eine erstaunliche Mannigfaltigkeit. Kein Wunder, daß wir deshalb allenthalben auf unserem Planeten Bakterien und Pilzen begegnen. Wo sich nur irgendwelche zersetzungsfähigen Reste vorfinden, überall sind die winzigen und doch so mächtigen Zerstörer zur Stelle. Der leiseste Windhauch, die feinsten Stäubchen tragen sie nach allen Himmelsrichtungen. Sie sind Kosmopoliten in des Wortes wahrster Bedeutung.

Der Boden, der uns alle nährt, ist zugleich die eigentliche Bruststätte der meisten Bakterien und sonstigen Mikroben. Hier liegt Anfang und Ende des Stoffkreislaufes. Daß die besonders intensiv wirkenden Formen, d. h. die Stäbchen, in der „tätigen“ Ackerkrume dominieren, ist leicht verständlich. Bewegliche und sporenbildende Arten treten in den Vordergrund. In den kälteren Klimaten herrschen Psychrophile, in den wärmeren Thermophile vor. Während in den neutral reagierenden Ackererden die Bakterien die Pilze um das Vielfache zu übertreffen pflegen, ist in sauer reagierenden, humusreichen Waldböden das Gegen teil oft zu konstatieren. Protozoen und niedere Algen sind ebenfalls ziemlich regelmäßig vorkommende Bodenbewohner. Während man aber von ihnen in einem Gramm Ackererde etwa 50000—100000, von Schimmel pilzen ein bis einige Hunderttausend Individuen findet, beläuft sich die Bakterien-Zahl fast stets auf mehrere bis viele Millionen. 100 Millionen Bakterien in ein Gramm Erde sind keine Seltenheit, und wenn auch die zuvor genannten, weniger häufig auftretenden Organismen durch ihre meist ansehnlichere Körpermasse den vorhandenen Abstand etwas verkleinern, so bleibt doch immer zu bedenken, daß es sich hier eben nicht so sehr um den Körper-Inhalt, als vielmehr um die wirkende Oberfläche handelt. Wie ich in der zweiten Vorlesung (S. 20) gezeigt habe, sind gerade die Bakterien in dieser Hinsicht ganz besonders bevorzugt.

¹⁾ Ausführliche, mit Zahlen und Literatur-Nachweisen belegte Angaben finden sich in den betreffenden Kapiteln meines „Handbuchs der landw. Bakteriologie“.

Nach unseren früheren Berechnungen stellt sich die Sache so, daß 100 000 Protozoen zwar denselben Raum einnehmen wie 100 Millionen Bakterien, doch ist deren Gesamt-Oberfläche zehnmal größer (rund 600 qmm gegenüber 60 qmm bei den Protozoen).

100 Millionen Bakterien in ein Gramm Erde erscheint im ersten Augenblick sehr viel, ist aber in Wirklichkeit im Vergleich zur ganzen Bodenmasse relativ wenig. Das lehrt folgende Überlegung: 1 g Erde enthält 100 Millionen, 1 mg 100 000 und $\frac{1}{1000}$ mg 100 Bakterien. 1 mg Erde kann man ohne erheblichen Rechenfehler dem Volumen nach mit 1 cmm gleichsetzen. Um die Bakterien deutlich sehen zu können, müssen wir sie 1000fach (linear) vergrößern. Bei entsprechender Vergrößerung wird aus 1 cmm 1 cbm, demnach aus $\frac{1}{1000}$ cmm 1 cdm. Bei gleichmäßiger Verteilung würden in einer 1 cm dicken Schicht dieses Würfels (von 10 cm Kantenlänge) 10 Bakterien sichtbar werden, in $\frac{1}{6}$ der Fläche zwei; es würde sich mithin das in Abb. 13 dargestellte Bild ergeben. Im günstigsten Falle könnte man dann (in jedem fünften oder zehnten solchen Würfel) vielleicht noch gleichzeitig eine Amoebe, eine Alge oder einen ähnlichen Organismus zu Gesicht bekommen. Trotzdem also jedes Gramm Boden viele Millionen Lebewesen in sich schließt, sind doch die zwischen den Erdteilchen vorhandenen, der Passage dienenden Spalten und Kanäle nicht entfernt so belebt wie die Haupt-Verkehrsstraßen unserer Millionen-Städte. Allerdings dürfen wir nicht vergessen, daß ja auch im Boden die Bakterien oft zu Kolonien vereint sind; um so größer sind dann aber die keimfreien Zwischenräume.

Von einer anderen Seite aus betrachtet, gewinnt indessen die Menge der in unseren Äckern und Wiesen lebenden und wirkenden Mikroorganismen ein wesentlich abweichendes Aussehen. Das Gewicht der etwa 30 cm tiefen Ackerkrume von 1 ha Land beträgt annähernd 4,5 Millionen Kilogramm. Enthält wieder je 1 g Erde 100 Millionen Bakterien von ca. $\frac{1}{10}$ mg Gewicht, so ergibt sich für das Hektar die recht stattliche Zahl von etwa 400 kg belebter Masse, die mit Rücksicht auf die außerdem vorhandenen Mikroben verschiedener Art noch um etwa 200—400 kg erhöht werden muß.

Am größten ist die Zahl der Bodenbewohner in den oberen Erdschichten, abgesehen von der allerobersten, leicht austrocknenden Zone.

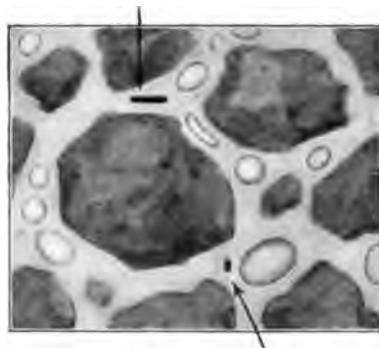


Abb. 13. Schematische Darstellung einer 100 Millionen im Gramm enthaltenden Erde bei 1000facher Vergrößerung.

Die Bakterien sind durch Pfeile markiert.

Da, wo sich die Wurzeln der Kulturgewächse vorwiegend ausbreiten, werden wir auch die Mehrzahl der Bakterien finden. In sehr feuchten Lagen werden die obersten, in viel unter Trockenheit leidenden Gebieten die tieferen Schichten aufgesucht. Im allgemeinen wirken aber Mangel an Luft und Nahrung im Verein mit mechanischen Hemmungen dahin, daß in einigen Metern Tiefe die Zahl der Bakterien sehr gering wird. Kirchhofsböden u. dergl. machen natürlich eine Ausnahme.

Bei dem großen Interesse und der regen Förderung, die von jeher vor allem diejenigen Forschungszweige gefunden haben, die sich auf möglichst fernliegende und wenig wissenswerte Dinge erstrecken, hat es nicht ausbleiben können, daß auch dem etwaigen Vorkommen von Bakterien in Jahrtausende alten Grabstätten und in den verschiedenen geologischen Erdschichten mit aller Sorgfalt und Ausführlichkeit nachgegangen wurde¹⁾. Natürlich war dieses edle Streben von Erfolg gekrönt. Für allerhand pilz- und bakterienähnliche Gebilde, die man auf und in versteinerten Knochen, Hölzern usw. „entdeckte“ (und die selbstverständlich alles mögliche andere gewesen sein können), ist eine lange Reihe wohlklingender „wissenschaftlicher“ Namen festgelegt worden. Ja, diese tiefgründige „Wissenschaft“ hat auch nicht eher geruht, bis sie herausfand, daß schon im Perm Bakterien in kariösen Zähnen und in den als Koprolithen glücklicherweise erhalten gebliebenen Exkrementen irgend welcher Urtiere vorgekommen sind. Daß die Bakterien, wie berichtet wird, zur Zeit der Riesen-Saurier natürlich auch wesentlich größer waren als heutzutage, werden wir gern glauben, wenn selbstverständlich auch jeder einigermaßen stichhaltige Beweis fehlt.

Der Keimgehalt des Wassers richtet sich nach dessen Herkunft und Beschaffenheit. Nährstoffarme Grund- und Quellwässer müssen viel keimärmer sein als z. B. unreines Flußwasser. Das bedarf keiner näheren Erläuterung. Ebenso wird man im Meerwasser in der Nähe der Küsten viel, auf hoher See und in den Tiefen der Ozeane dagegen nur relativ wenig Bakterien vorfinden. Sehr erklärlicher Weise hat sich den im Trinkwasser enthaltenen Keimen die besondere Aufmerksamkeit der Hygieniker zugewandt. 100 Bakterien pro ccm hat man gelegentlich als Maximalzahl für gutes Trinkwasser hingestellt. Indessen ist leicht einzusehen, daß die Gesamtzahl unmöglich als zuverlässiger Maßstab für die hygienische Bewertung eines Wassers dienen kann. Die Qualität des Mikroben-Bestandes ist, wie meist, so auch hier von ausschlaggebender Bedeutung. Die Zahl dient nur zur vorläufigen Orientierung.

Mineralwässer können trotz ihres hohen Kohlensäure-Gehaltes sehr keimreich sein²⁾. Das gleiche gilt für Limonaden³⁾.

¹⁾ Vgl. besonders die zahlreichen, umfangreichen Mitteilungen von RENAULT, die von 1894—1900 in den Comptes rendus de l'Académie de Paris, den Annales des sciences naturelles und anderwärts publiziert worden sind; ferner BAUDOUIN, Comptes rendus de l'Académie Paris T. 138, 1904, p. 1001 ff.

²⁾ HOCHSTETTER, Arbeiten aus d. Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 2, 1887, S. 1.

³⁾ THÖNI, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 29, 1911, S. 616.

Durch die Sickerwässer werden die Bodenorganismen in Grund-, Quell- und Flusswasser übertragen. Andererseits wirbelt der Wind Staubteilchen in die Luft empor, die so an allerhand Keimen bereichert wird. Die Arten von kugelförmiger Gestalt halten sich, wie leicht begreiflich ist, am längsten schwebend. Die Mikrokokken sowie die relativ leichten Schimmelpilz-Sporen beherrschen infolgedessen hier mehr als anderswo das Feld. Fehlt es, wie im schneebedeckten Hochgebirge, auf den Eisfeldern der Polargebiete oder auf hoher See an der eben erwähnten Vorbedingung zur Entstehung einer keimreichen Atmosphäre, dann kann nur noch der eine oder der andere, zufällig weithin verwehte Keim gefunden werden. Vielleicht wurde er auch erst von dem Beobachter selbst dahin gebracht. Daß Regen, Schnee und Hagel stets — namentlich aber nach längeren Trockenperioden — Keime enthalten, bzw. aus der Luft der Erdoberfläche wieder zuführen müssen, wurde (trotzdem wohl niemand daran zweifeln wird) mehrfach eingehend untersucht. Ebenso selbstverständlich dürfte es sein, daß die Luft in großen Städten im allgemeinen keimreicher ist als auf dem Lande, und sich in ihr während des Sommers gewöhnlich mehr Keime vorfinden als im Winter. Automobil-Rennen auf den Landstraßen sind natürlich auch in bakteriologischer Hinsicht höchst unerfreulich. Praktisch wichtig ist — mit Rücksicht auf den Keimgehalt der Milch — der meist sehr hohe Keimgehalt der Stallluft. In der 16. Vorlesung werden wir uns etwas näher damit zu beschäftigen haben.

Sehr ausführliche Untersuchungen über den Keimgehalt der Luft haben MIQUEL in Frankreich und SAITO in Japan ausgeführt¹⁾. Wie zu erwarten war, fielen die Ergebnisse in beiden Fällen ziemlich ähnlich aus. Mitten in Paris enthielt 1 cbm Luft 330—1540 Keime. (Diese Zahlen stammen aber aus einer Zeit, in der noch keine Motorwagen fuhren!) Interessant ist auch, daß die keimtötende Wirkung des Sonnenlichts zuweilen sehr deutlich hervortritt. Z. B. wurden bei einer größeren Zahl von Untersuchungen in je 10 l Luft durchschnittlich gefunden: bei Sonnenschein 1, bei trübem Wetter aber 1025 Keime²⁾.

Naturgemäß sind auch die auf den Feldern, Wiesen und Weiden wachsenden Pflanzen nicht frei von Mikroben. Im Gegenteil sind nicht nur die mit dem Boden in näherer Berührung stehenden Teile meist recht keimreich; auch für die oberen Teile der Stengel, für die Blätter, Blüten und Samen gilt das gleiche. Selbst auf einem Keimling, der unter Fernhaltung aller (dem Keimbett, der Luft oder dem Wasser entstammenden) fremden Organismen erzogen wurde, pflegt

¹⁾ P. MIQUEL, Annuaire de l'Observatoire de Montsouris 1882, p. 406 (ref. in WOLLNYS Forschungen auf d. Gebiete d. Agrikulturphysik, Bd. 6, S. 185); K. SAITO, Journal of the College of Science of the Imperial University, Tokyo, vol. 23, 1908, Art. 15 (ref. Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 24, S. 228).

²⁾ FLEMMING, Zeitschrift für Hygiene, Bd. 58, 1908, S. 345.

schon eine üppig entwickelte Mikroflora vorhanden zu sein. Man hat auf solchen Keimpflänzchen pro qmm bis 170000 Individuen gezählt, also etwa $\frac{1}{6}$ derjenigen Zahl von Bakterien, die bei vollkommen gedrängter Lagerung auf dieser Fläche überhaupt Platz finden könnten. Bedenken wir aber, daß die Bakterien, um haften zu bleiben, jedenfalls sehr reichlich Schleim produzieren müssen, und demnach nicht eng aneinander liegen können, so folgt, daß wohl ein zusammenhängender, den betreffenden Pflanzenteil fast vollständig überziehender, schleimiger Bakterien-Belag vorhanden gewesen sein wird. Der Schleim ist natürlich nicht allein insofern von Nutzen, als er für das Festhaften der Keime auch bei starken Regengüssen sorgt, er trägt auch dazu bei, daß zeitweiliges Eintrocknen schadlos überstanden, andererseits auch nur geringe, im Tau zugeführte Feuchtigkeitsmengen möglichst vollkommen ausgenutzt werden. Die Safttröpfchen, die von den Pflanzen selbst sezerniert werden, enthalten ca. 0,05—0,1% Trockensubstanz. Das ist jedenfalls vollauf genügend für diese wenig anspruchsvollen Epiphyten. Beim Trocknen der verschiedenen Pflanzenteile (des Heues, des Strohes, der Samen usw.) findet aus bekannten Gründen nur ein teilweises Absterben der Mikroorganismen statt. In je 1 g Heu oder Stroh hat man noch 10 oder mehr Millionen Keime gefunden. Rauhschalige Samen werden unter im übrigen gleichen Umständen stets keimreicher sein als Körner mit glatter Oberfläche, z. B. hat man gelegentlich an je 1 Gerstenkorn 80000, an je 1 Roggenkorn dagegen nur 3000 Keime gezählt, bei anderem, keimreicherem Material 7 resp. 2 Millionen pro Gramm. Werden wasserreiche Pflanzenteile irgend welchen Gärungen unterworfen, so muß selbstverständlich der Keimgehalt wachsen. Es wird demgemäß nicht überraschend wirken, wenn wir hören, daß in Braunheu und Sauerfutter 1000—2000 Millionen Bakterien pro Gramm gezählt worden sind. Werden die Nahrungs- und Futtermittel gekocht oder gedämpft, so gehen notwendigerweise fast alle vegetativen Zellen sowie ein Teil der Sporen zugrunde.

Mit der Nahrung gelangen die Keime in den Körper. Je nach den wechselnden Existenzbedingungen, denen sie beim Passieren des gesamten Verdauungstraktus ausgesetzt sind, können sie sowohl Verminderungen als auch Vermehrungen erfahren. Jene Arten, die höheren Temperaturen und anaerober Lebensweise besser angepaßt sind, werden über die weniger hierzu disponierten Spezies dominieren. Verschiedene andere Umstände wirken begünstigend bei dieser Auslese mit. Bei den Wiederkäuern setzt schon im Pansen eine lebhafte Bakterien-Tätigkeit ein; durch die dabei in großer Masse entstehenden Gärungsgase kann sie für die Tiere mitunter geradezu gefährlich werden. Im Pansen wie in den beiden nächstfolgenden Magenabteilungen ist von

einer schädigenden Einwirkung des tierischen Organismus auf die in ihm befindlichen Bakterien jedenfalls nichts zu bemerken. Das ändert sich, sobald die Keime in den Bereich des sauren Magensaftes (im Labmagen) gelangen. Im Futterbrei erhalten sie sich zwar zum Teil am Leben, dagegen ist der leere Magen normalerweise so gut wie keimfrei. Im Dünndarm hält die schädliche Wirkung der sauren Verdauungssäfte nicht nur an, sie erfährt sogar noch eine Verstärkung durch eine eigenartige, in kausaler Hinsicht bisher nicht vollkommen aufgeklärte, direkt bakterienvernichtende Eigenschaft der Darmwand selbst. Der leere Dünndarm enthält infolgedessen entweder keine oder doch nur sehr wenige Bakterien. Im Dickdarm setzt dagegen von neuem lebhafteste Vermehrung und Tätigkeit ein, von deren Vorhandensein uns die auftretenden Gase und Düfte zur Genüge überzeugen. Etwa 10—20% der Kot-Trockensubstanz entfällt auf die darin verteilten Bakterien, die allerdings nur zum Teil lebendig sind. Immerhin sind schon bis 18 000 Millionen lebender Keime in je 1 g fester Exkreme te gezählt worden. Das dürfte etwa die Hälfte der gesamten Bakterienmasse sein. Ich werde in der 15. Vorlesung darlegen, inwiefern sich die Darmbakterien als nützlich für den Organismus erweisen können, in dem sie leben. Ab und zu können ja auch einmal ein paar krankheitserregende Keime mit in den Körper gelangen. Daß es sich aber hierbei in der Tat, wie ich schon gelegentlich betont habe, um eine relativ recht seltene Ausnahme-Erscheinung handelt, ist von dem jetzt gewonnenen Standpunkte aus jedenfalls unschwer zu verstehen.

Wie der Verdauungstraktus, so ist auch die Oberfläche des Tierkörpers fast stets übersät mit einer Unzahl von Bakterien und Pilzen. Die Luft, das Lager und die Exkreme te führen immer neue Scharen zu. An Hautstellen, die durch Schweißabsonderung oder auf anderem Wege einer Anfeuchtung unterliegen, greifen Keimvermehrungen fördernd ein. Daß man z. B. in 1 g Putzstaub 207 Millionen Organismen gezählt hat, kann sicherlich nicht überraschen. Im ausgesprochenen Gegensatz hierzu sind die inneren Organe des Tieres und vor allem das Blut, im gesunden Zustande vollkommen oder doch so gut wie keimfrei. Besonders das Blut besitzt sehr ansehnliche, bakterientötende („bakterizide“) Eigenschaften. Infolgedessen gehen die durch Verletzungen der Außenhaut oder der inneren Schleimhäute etwa eingedrungenen Keime in der Regel sehr rasch zugrunde. Nur die krankheitserregenden Mikroben stellen eine Ausnahme dar. In der 14. Vorlesung wird näheres hierüber mitzuteilen sein.

Vom Tiere aus können nun die Mikroorganismen gegebenen Falles auch in die Milch übergehen. Im Augenblicke des Entstehens ist allerdings aus dem soeben angegebenen Grunde normalerweise auch die Milch

keimfrei; nur krankheitserregende Bakterien können aus der Blutbahn in das Drüsengewebe des Euters gelangen. Aber oft schon in der Zyste, fast immer in den Strichkanälen und stets an der Zitzenmündung finden sich allerhand Bakterien, die von der ausströmenden Milch aufgenommen werden. Vom Haarkleide des Tieres, namentlich aber von dem beim Melken stark bewegten Euter, fallen Hautschuppen und Haare in den Melkeimer und erhöhen so den Keimgehalt der Milch. Je unsauberer das Tier, umso größer selbstverständlich die Keimzunahme! Dasselbe gilt für den Stall und die darin vorhandene Luft. Herrscht Unruhe im Stall, so werden ganze Wolken von Bakterien und Pilzen empor gewirbelt, die sich nur ganz allmählich wieder zu Boden senken.

Während der Zeit, in der die Milch ermolken wird, ist sie also stets einem mehr oder weniger dichten und anhaltenden „Bakterien-Regen“ ausgesetzt. Dabei bleibt es aber ja noch nicht. Jedes Gefäß oder Gerät, mit dem die Milch auf dem weiten Wege vom Euter der Kuh bis in den Milchtopf der Hausfrau in Berührung kommt, enthält seinerseits Keime und gibt diese leicht an die darin verweilende oder hindurchströmende Milch ab. Diese selbst ist reich an allen Nährstoffen. Infolgedessen bietet sie den eingedrungenen Bakterien — besonders wenn nicht für energische Abkühlung Sorge getragen wurde — Gelegenheit zu üppiger Vermehrung dar¹⁾.

Es wird demnach nicht Wunder nehmen, wenn man erfährt, daß die gewöhnliche Marktmilch in der Regel mehr als 1, oft 2—10, gelegentlich auch 50, 100 und noch mehr Millionen Keime pro ccm enthält. Wie es möglich wird, eine keimarme Milch (mit etwa 5000—10 000 Keimen pro ccm) zu produzieren, werden wir später hören. Vorläufig sei nur zur weiteren Erläuterung des soeben Gesagten noch darauf hingewiesen, daß auch die allersaubersten, „blitzblank“ erscheinenden Molkerei-Geräte noch sehr keimreich sein können. Das, was dem bloßen Auge so erscheint, kann im bakteriologischen Sinne nicht selten von wirklicher Sauberkeit himmelweit entfernt sein. Jedes noch so winzige Wassertröpfchen entspricht, an den Maßen der Bakterien gemessen, einem weiten und tiefen See, und die geringen Milchreste, die trotz mehrmaliger Spülung noch in diesen Tröpfchen verteilt bleiben, sind vollkommen ausreichend, um ungezählte Millionen und Milliarden von Bakterien auf das reichlichste zu ernähren. Wie überall, wo Bakterien im Spiele sind, so verraten uns auch in den Molkereien die Wahrnehmungen des Geruchssinnes viel mehr als der Blick des unbewaffneten, wenn auch noch so scharfen Auges.

¹⁾ Vgl. die in der dritten Vorlesung (S. 34) angeführten Zahlen.

Wie verschwindend gering allerdings die durch 2—3 Millionen Bakterien pro ccm repräsentierte Keimmenge dann erscheint, wenn wir sie mit dem dazu gehörigen Milchquantum vergleichen, habe ich bei einer früheren Gelegenheit demonstriert (Abb. 6 auf S. 21). Damals haben wir auch schon gesehen, daß sich der Keimgehalt von Butter und Käse gleichfalls noch relativ recht bescheiden darstellt. Am keimreichen ist die Rinde junger Käse. Man hat hier bis 500 000 Millionen pro g gezählt; tatsächlich besteht der weiße, schleimige Überzug fast nur aus Bakterien und Pilzen. In 1 ccm saurer Milch sind oft 1000 Millionen Milchsäure-Bakterien vorhanden. Konstruieren wir uns danach ein Bild, das dem in Abb. 13 wiedergegebenen entspricht, so sehen wir (Abb. 14), daß sich auch diese Keimmenge noch nicht als sonderlich imponierend erweist.

Weit größer als die vom Tier in die Milch und in die Molkereiprodukte übergehenden Keimmengen sind selbstverständlich diejenigen, die mit den Exkrementen im Dünger deponiert werden. Die in der Streu enthaltenen Bakterien und Pilze treten demgegenüber sehr zurück. Aus dem, was ich über den Keimgehalt von Stroh und Darmkot bereits mitgeteilt habe, ergibt sich das ohne weiteres. Der Harn gesunder Tiere enthält — wie die Milch — zunächst keine oder doch nur relativ wenig Bakterien. Bei der Berührung des Stallbodens bzw. bei der Vermischung mit der Streu und den festen Exkrementen ändert sich dies sofort. Speziell auf Kosten der in den flüssigen Ausscheidungen zugeführten leicht zersetzbaren Substanzen tritt — begünstigt durch die hohe Stall-Temperatur — eine sehr energische Bakterien-Vermehrung ein. Nach kurzer Zeit ist die gesamte Masse des entstehenden Düngergemisches fast ebenso keimreich wie zuvor allein die festen Exkremeante.

Bei früher ausgeführten Zählungen sind zwar fast immer nur ein paar Millionen Bakterien im Gramm Stallmist nachgewiesen worden. Mit Rücksicht auf den gegebenen Sachverhalt konnten diese Befunde nicht als zutreffend hingenommen werden. In der Tat hat sich denn auch bei genaueren, auf meine Veranlassung hin von J. H. SMITH angestellten Untersuchungen ergeben, daß aus 1 g Stalldünger etwa

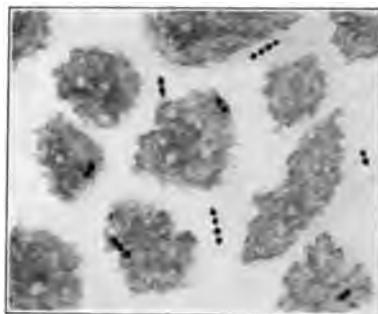


Abb. 14. Schematische Darstellung von saurer Milch, die 1000 Millionen Bakterien im Kubikzentimeter enthält, bei 1000facher Vergrößerung. In und zwischen den heller gefärbten Käsestoff-Teilchen sieht man die dunkler gefärbten Milchsäure-Streptokokken.

12 000 Millionen Bakterien und Pilze zur Entwicklung gebracht werden konnten. Über die außerdem sicher noch vorhandenen Protozoen ist vorläufig nichts bekannt. Da sie aber im Darme der Tiere und auf Stroh nicht gerade selten sind, werden sie sich sehr wahrscheinlich auch im Stallmist noch in ansehnlicher Menge nachweisen lassen. Halten wir uns aber lediglich an das bisher Festgestellte, so sehen wir, daß eine Düngung mit 40 000 kg Stallmist pro ha dem Acker an lebenden Mikroben rund 500 kg zuführt. Es leuchtet ein, daß dieses Moment von größter Wichtigkeit ist, wollen wir überhaupt eine zureichende Erklärung finden für den spezifischen Effekt einer Stallmist-Düngung.

Standorts-Varietäten. Überschauen wir noch einmal den soeben zurückgelegten Weg, so sehen wir, daß wir die Mikroorganismen auf einem vollständigen Kreislaufe begleitet haben. Der andauernd im landwirtschaftlichen Betriebe sich abspielende Kreislauf des Stoffes ist von Anfang bis zu Ende aufs engste — und zu einem großen Teile ursächlich — verknüpft mit einem Kreislauf der niederen Organismen. Der Quell alles Lebens ist der Boden. Mit dem darauf erwachsenden Futter, durch Luft und Wasser übertragen, gelangen die Keime in den Stall, in das Tier, in die Milch und in die Molkereiprodukte. Vom Tier geht es weiter in den Stalldünger und mit ihm zurück in den Boden.

Aber überall auf dieser weitverzweigten Bahn stellen sich nun je nach den obwaltenden Existenz-Bedingungen die mannigfältigsten Änderungen in quantitativer wie in qualitativer Hinsicht ein. Bald schwollt der Bakterien-Strom gewaltig an, bald ebbt er ab; und nur wenige, besonders widerstandsfähige Keime bleiben am Leben. Vor allem aber muß hier darauf hingewiesen werden, daß es sich in diesem vielgestaltigen Wechsel keineswegs allein um einfache Änderungen der Zahl, und auch nicht allein um die — allerdings weit wichtigeren — Änderungen im Artbestande handelt. Vielmehr müssen wir vor allem berücksichtigen, daß die an den verschiedenen Abschnitten des Kreislaufes sich einnistenden Mikroorganismen unter dem Einflusse der jeweils gegebenen Existenzbedingungen in ihren Eigenschaften bald in dieser, bald in jener Richtung variieren können und müssen. So entstehen die „Standorts-Varietäten“, die oft in sehr auffallender Weise ihren Einfluß geltend machen. Am bekanntesten ist die Einwirkung gewisser Heferassen auf die Qualität des Weines. Aber auch die besonders vorzügliche Beschaffenheit mancher Butter- und Käsesorten ist auf solche lokale Einflüsse, auf das Wirken von Edel-Pilzen und -Bakterien zurückzuführen. Ich werde späterhin einige genauere Angaben in dieser Richtung machen. Vorläufig sei nur noch die — auch praktisch sehr wichtige — Tatsache hervorgehoben, daß der im Molkerei-Betriebe nicht selten bemerkbare nachteilige Einfluß bestimmter Arten der Düngung

und Fütterung — wenigstens teilweise — mit dem hierdurch bedingten Auftreten schädlicher Bakterien- und Pilz-Varietäten ursächlich verknüpft ist.

Aus dem Gesagten ersehen wir aufs deutlichste, wie notwendig es ist, den gesamten Kreislauf der Mikroorganismen im landwirtschaftlichen Betriebe zu berücksichtigen und in vollem Umfange zu erforschen. Nur wenn so verfahren wird, kann sich uns ein zutreffender, wissenschaftlich einwandfreier Einblick in diese, mitunter recht verwickelten Verhältnisse eröffnen. Er würde uns dagegen immer verschlossen bleiben, wenn wir — in Übereinstimmung mit gelegentlich geäußerten Wünschen — nur von Fall zu Fall das praktisch gerade besonders dringlich Erscheinende, losgelöst aus dem Zusammenhange, einer Bearbeitung unterziehen wollten. Von einer wissenschaftlichen Forschung könnte jedenfalls dann kaum mehr die Rede sein.

— — —

7. Vorlesung.

Zählung, Züchtung und Untersuchung der Mikroorganismen.

Zählung der Mikroorganismen. Wenn man zum ersten Male hört, daß in 1 g Erde, Dünger, Käse usw. Millionen und Milliarden von Bakterien und Pilzen gezählt worden seien, so muß man sich wohl auch fragen, wie es denn überhaupt möglich ist, einen zutreffenden Überblick über diese ungeheuren Scharen winzigster Lebewesen zu gewinnen. Selbstverständlich ist die wirkliche Auszählung so großer Mengen vollständig ausgeschlossen¹⁾). Stets muß man sich damit begnügen, einige entsprechend kleine Bruchteile eines Grammes oder eines Kubikzenti-meters des betreffenden Materials zur Untersuchung zu verwenden. Fast in allen Fällen legt man zu diesem Zwecke zunächst Verdünnungen an, indem man eine bestimmte Menge Substanz (z. B. 1 g oder 1 ccm) in einer größeren Wassermenge — sagen wir 100 oder 1000 ccm — sehr sorgfältig verteilt. Natürlich müssen in diesem Wasser die darin anwesenden Keime zuvor durch Erhitzen abgetötet worden sein. Überträgt man nun aus dieser I. Verdünnung mittels einer sterilisierten Pipette einen bestimmten Anteil (z. B. 1 ccm) abermals in eine bestimmte Menge keimfreien Wassers — 9 ccm vielleicht — und wiederholt man (nach jedesmaligem, sehr sorgfältigen Durchmischen) nötigenfalls dieses Verfahren noch einige Male, so gelangt man bald zu Verdünnungen, von denen 1 ccm etwa $1/100\,000$ oder $1/10\,000\,000$ g resp. ccm des Ausgangsmaterials entspricht.

Damit wir nun die in der betreffenden Substanz (Milch u. dgl.) bzw. in den angefertigten Verdünnungen verteilten Keime zu Gesicht bekommen, stehen uns zwei Wege offen. Die eine Möglichkeit ist die der mikroskopischen Zählung, d. h. wir verteilen eine kleine, genau abgemessene Menge Flüssigkeit auf einer Fläche von bekannter Größe, bringen dieses Präparat unter das Mikroskop und prüfen, wieviel Keime durchschnittlich im Gesichtsfeld zu sehen sind. Stellen wir dann noch

¹⁾ Wie erstaunlich lange Zeit es in Anspruch nehmen würde, auch nur 1000 Millionen im einzelnen durchzuzählen, habe ich früher (S. 20) gezeigt.

fest, welches Verhältnis zwischen der Größe des einzelnen Gesichtsfeldes und derjenigen des ganzen Präparates besteht, so sind wir ohne weiteres in der Lage, die entsprechenden Umrechnungen vorzunehmen und den Keimgehalt pro g resp. ccm anzugeben. Selbstverständlich ist diese Art der Zählung sehr zeitraubend und anstrengend für das Auge. In gewissen Fällen wird man sich ihrer trotzdem bedienen; namentlich dann, wenn man sich überzeugen will, wieviel Keime in dem zu untersuchenden Material tatsächlich vorhanden sind.

Die zweite, weit bequemere und deshalb in den meisten Fällen bevorzugte Methode kann uns diese Auskunft nicht gewähren. Wir können, wenn wir sie benutzen, immer nur sagen, daß wir unter den oder jenen Bedingungen so und so viel Bakterien und Pilze gezählt haben; wie viel wirklich vorhanden waren, erfahren wir nicht. Bei der Anwendung dieses Verfahrens geht man in der Regel so vor, daß man die in passender Verdünnung vorliegenden Keime in ein geeignetes Substrat (z. B. Gelatine) einsät und hier zu Kolonien heranwachsen läßt. Jede Kolonie wird als aus einem Keim hervorgegangen angesehen — was ja allerdings nicht immer so ist — und danach der Keimgehalt des verwendeten Materials berechnet.

Das Bild, das die zu derartigen Zählungen benutzten Kulturschalen darbieten, ist demjenigen ähnlich, das auf Tafel III an erster Stelle zur Darstellung gebracht wurde. Die dort abgebildete Gelatine-Gußkultur zeigt die Kolonien, die sich aus $\frac{1}{1000000}$ g Erde entwickelt hatten.

Da keine Methode denkbar ist, die den sehr verschiedenartigen Ansprüchen der Mikroben an Nahrung, Temperatur, Luft-Zutritt resp. Luft-Abschluß gleichzeitig Rechnung trägt, so ist es, wie gesagt, auf diesem Wege niemals möglich, einen vollständigen Überblick über die in dem betreffenden Falle insgesamt vorhandenen Keime zu gewinnen.

Benutzt man für die Verdünnungen nicht Wasser, sondern sterilisierte Nährlösungen verschiedener Art, und bringt man gleichzeitig eine größere Zahl von Parallel-Versuchen in Gang, so kann man die Zahl der unter den gewählten Bedingungen wachsenden Organismen auch in der Weise annähernd abschätzen, daß man zusieht, in welchen Verdünnungen Entwicklung (Trübung u. dergl.) wahrzunehmen ist.

Wurde z. B. der Versuch in 4 Parallelreihen durchgeführt und zeigte sich noch Wachstum in 2 oder 3 von denjenigen Gläsern, in die $\frac{1}{1000000}$ g oder ccm der Substanz eingetragen worden war, so kann angenommen werden, daß pro g oder ccm ungefähr 5 resp. 7,5 Millionen solcher Organismen vorhanden waren, wie in der gewählten Lösung bei der innegehaltenen Temperatur zur Entwicklung gebracht werden können.

Trotzdem diese Anwendung der Verdünnungsmethode entschieden umständlicher und auch die Genauigkeit der hierbei erlangten

Resultate zweifellos nicht sehr groß ist, kann doch in gewissen Fällen mit Nutzen davon Anwendung gemacht werden. Z. B. kann man die Zahl der in 1 g Erde vorhandenen salpeterbildenden Bakterien (bisher wenigstens) in keiner andern Weise annähernd bestimmen als in dieser. Fertigt man von den mit verschiedenen Verdünnungen beschickten Gläsern, soweit sie Entwicklung zeigen, mikroskopische Präparate an, so kann man sich auch einen ungefähren Überblick über die Arten der anwesenden Mikroben verschaffen. In den stärkeren Verdünnungen wird man oft andere Formen zu Gesicht bekommen als in den schwächeren. Namentlich kann man sich aber mit Hilfe dieses Verfahrens auch über das Vorkommen und über die Häufigkeit verschiedener Gruppen von Protozoen im Stalldünger und im Boden besser orientieren, als dies auf irgend einem andern Wege möglich ist.

Züchtung der Mikroorganismen. Die beiden zuletzt besprochenen Methoden der Keimzählung beruhen darauf, daß man die Mikroben entweder in einem flüssigen oder in einem festen Substrat (z. B. Gelatine) zur Entwicklung kommen läßt. Von hier aus bedarf es bis zur eigentlichen Züchtung nur noch eines Schrittes, der darin besteht, daß wir aus den überall in der Natur vorkommenden Gemischen der verschiedensten Organismen „Reinkulturen“ zu gewinnen suchen. Als letzte Vorstufe hierzu können jene oft schon ziemlich einheitlich erscheinenden „Rohkulturen“ angesehen werden, wie sie in den zur Zählung benutzten festen und flüssigen Nährböden aufzutreten pflegen. Die auf der Gelatine heranwachsenden verschiedenartigen Kolonien sind zwar z. T. nur aus einem Keim hervorgegangen, andere von ihnen erweisen sich dagegen bei genauerer Prüfung als ein Gemisch verschiedener Arten. Einige zufällig dicht nebeneinander geratene differente Keime haben eine „Mischkolonie“ entstehen lassen. In den in flüssigen Nährböden angelegten Verdünnungen kommt man sogar fast niemals sofort zu Reinkulturen.

Um die verschiedenen Arten sicher zu „isolieren“, muß man also weiter gehen. Zunächst stehen uns hier wieder die beiden eben besprochenen Methoden zur Verfügung, die in mehrfacher Wiederholung und so lange in Anwendung zu bringen sind, bis jede der erhaltenen Kulturen sowohl bei der Prüfung mit dem unbewaffneten Auge (makroskopisch) wie mikroskopisch konstant einheitlichen Charakter aufweist. Das Verdünnungs-Verfahren wurde früher ganz allgemein zur Isolierung der Bakterien und Pilze benutzt; schon PASTEUR hat vor 50 Jahren damit gearbeitet, und auch heute noch kommt es gelegentlich zur Anwendung. Es liegt jedoch auf der Hand, daß es selbst bei sehr sorgfältiger mikroskopischer Prüfung kaum möglich ist, mit voller Sicherheit zu entscheiden, ob die Mikroben, die in den letzten, noch Entwicklung

zeigenden Verdünnungen zu sehen sind, tatsächlich Nachkommen eines Keimes, also wirklich Reinkulturen darstellen. Weit zuverlässigere Resultate gibt zweifellos das zweite Verfahren, die Methode der Gußkulturen, wie sie von ROBERT KOCH in die Bakteriologie eingeführt worden ist. Aus dem, was ich soeben über die Zählung der Mikroorganismen sagte, geht schon hervor, daß wir hier entschieden sichereren Grund unter den Füßen haben. Es war eben ein überaus glücklicher Gedanke ROBERT KOCHS, dem alten Verdünnungs-Verfahren dadurch eine solidere Basis zu geben, daß er den zweckentsprechend zusammen gesetzten Nährösungen leicht schmelzbare, durchsichtige, bei niederen Temperaturen rasch erstarrende Stoffe zusetzte, die ein Hin- und Her-Eilen der beweglichen Bakterien unmöglich machen. Außer Gelatine kommt für diese Zwecke noch besonders Agar in Betracht.

Gelatine ist Knochenleim, ziemlich reich an Stickstoff und relativ leicht schmelzbar. Zahlreiche Bakterien- und Pilz-Arten verflüssigen sie durch Enzyme verschiedener Art. — Dagegen ist Agar eine aus Algen gewonnene, fast stickstofffreie Gallerte, die vorwiegend aus schwer angreifbaren Kohlenhydraten (in erster Linie „Gelose“) besteht. Der Schmelzpunkt liegt bei ca. 100°, der Erstarrungspunkt bei etwa 40° C. Nur sehr wenige Arten von Mikroorganismen sind imstande, Agar aufzulösen¹⁾. — Diese differenten Eigenschaften entscheiden darüber, welches der beiden Substrate im einzelnen Falle den Vorzug verdient.

Um Reinkulturen zu erhalten, schmilzt man also die zuvor in Reagenzgläser gefüllte und hierin sterilisierte Nährgelatine oder das Nähragar, legt dann die erforderlichen Verdünnungen an, und gießt das „geimpfte“ Substrat in PETRI-Schalen aus, in denen die etwa vorhandenen Keime ebenfalls durch Erhitzen vorher abgetötet worden waren. Früher benutzte man an Stelle der Doppel-Schalen einfache Glasplatten, und deshalb spricht man auch gegenwärtig noch oft statt von „Guß-Kulturen“ von Gelatine- oder Agar-„Platten“. In dem rasch erstarrenden Nährboden sind nun die Keime „festgeleimt“; sie können also von ihrer Beweglichkeit zunächst nicht mehr Gebrauch machen, aber sie können, da ihnen Nährstoffe in großer Menge zur Verfügung stehen, zu Kolonien heranwachsen. An diesen stellt man dann durch makroskopische und mikroskopische Untersuchung fest, ob sie sich als Reinkultur erweisen. Selbstverständlich können immer noch Zweifel bestehen bleiben, ob der angestrebte Erfolg denn auch wirklich erreicht wurde. In der Tat kommt es von Zeit zu Zeit vor, daß eine zunächst als „rein“ an-

¹⁾ Ein von H. GRAN aus Meerwasser isolierter *Bac. gelaticus* löst Agar durch eine „Gelase“ (Bergens Museums Aarbog 1902, ref. Centralbl. f. Bakt., II. Abt. Bd. 9, S. 562). K. PANK (Anzeiger d. Akad. Krakau, Mathem.-naturw. Kl., 1905, S. 19) sowie W. BIERNACKI (Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 29, 1911, S. 166) beschrieben zwei andere, angeblich ebenfalls Agar lösende Bakterien, deren Wirkung mir indessen zweifelhaft erscheint; event. handelt es sich hier nur um Säure-Hydrolyse. Auch Algen sollen Agar verflüssigen.

gesprochene Kultur sich bei länger fortgesetzter Prüfung als „unrein“ erweist. Es waren von vornherein ein paar nicht bemerkte Keime einer anderen Art beigemischt, die sich erst später unter anderen Kultur-Bedingungen so reichlich entwickelten, daß man auch sie neben den bisher allein sichtbaren Individuen der ersten Art nun wahrnehmen kann. Immerhin handelt es sich hier doch nur um Ausnahmefälle, die zwar bei der „Plattenmethode“ nie völlig ausgeschlossen sind, die aber doch bei sorgfältigem Arbeiten im ganzen recht selten vorkommen.

Ganz sicher geht man nur dann, wenn man die sogenannte Ein-Zell-Kultur zu Hilfe nimmt, d. h. eine einzige Zelle auswählt und diese zu einer „absoluten“ Reinkultur heranwachsen läßt. Das Auswählen einer einzigen Zelle ist aber leichter gesagt als getan. Bei den Sproß- und Schimmelpilzen, eventuell auch noch bei den größeren Bakterien, kann man sich in der Weise helfen, daß man das keimhaltige Substrat in kleinsten Tröpfchen auf ein Deckglas aufträgt und unter dem Mikroskop jene Tröpfchen auswählt und bezeichnet, die nur einen Keim enthalten. Ist dann in diesen die Vermehrung genügend weit fortgeschritten, so impft man von hier aus in andere Nährböden über. Für die Mehrzahl der Bakterien ist diese Methode nicht anwendbar. Namentlich bei kleinen Formen ist es rein unmöglich, mit Bestimmtheit zu sagen, ob ein Tröpfchen nur einen oder mehrere Keime enthält. Einige Forscher haben besondere Instrumente ersonnen, die es ermöglichen sollen, unter dem Mikroskop eine einzelne Bakterie zu ergreifen und in ein zusgendes Nährsubstrat überzuimpfen. Außer von ihnen jeweiligen Erfindern dürften diese Verfahren kaum noch von irgend jemandem benutzt worden sein. Recht praktisch ist dagegen eine von R. BURRI angegebene Methode: die Tuschepunkt-Kultur. Man legt hier die Verdünnungen in sterilisierter Tusche an und setzt mit Hilfe einer Zeichenfeder sehr kleine, etwa 0,1 mm im Durchmesser haltende Tuschepunkte auf eine sterile Gelatineschicht. Die Tusche trocknet sofort zu einem Tusche-Scheibchen ein, und der oder die darin vorhandenen Keime liegen dann in der schwarzen Masse derart eingebettet, daß man sie schon bei relativ schwaclier Vergrößerung als hell leuchtende Punkte erkennen kann. Die nur einen Keim enthaltenden Tuschepunkte werden markiert und man erhält dann, da die Tusche das Wachstum der Bakterien in der Regel nur wenig behindert, an diesen Stellen später sicher nur aus je einer Zelle hervorgegangene Kolonien (Abb. 15).

Handelt es sich, wie namentlich sehr oft bei landwirtschaftlich-bakteriologischen Untersuchungen darum, möglichst alle Arten und Varietäten kennen zu lernen, die an einem bestimmten Prozeß, z. B. an der Salpeter-Bildung oder an der Zellulose-Zersetzung, beteiligt sind, so sind entsprechend elektiv wirkende Vorkulturen unentbehrlich. Sie

werden in zweckentsprechend zusammengesetzten Nährösungen durchgeführt. Solche „Anhäufungsversuche“ sind namentlich von Prof. BEIJERINCK in Delft mit großem Erfolge benutzt und empfohlen worden. Fast unsere gesamte Kenntnis der Dünger- und Bodenorganismen gründet sich auf derartige Studien. Im weiteren Verlaufe meiner Darlegungen werde ich noch Verschiedenes in dieser Richtung mitzuteilen haben. Außer auf die richtige Wahl der Nährstoffe muß selbstverständlich auch auf die ungleichen Ansprüche sorgfältig geachtet werden, die von den zu züchtenden Mikroben an die Temperatur sowie an den Luftzutritt bzw. Luftabschluß gestellt werden..

Manche Autoren sprechen in diesem Falle von einer „natürlichen Reinzucht“. Wirklich „rein“ sind indessen die im Anhäufungsversuch erhaltenen „Rohkulturen“ nur

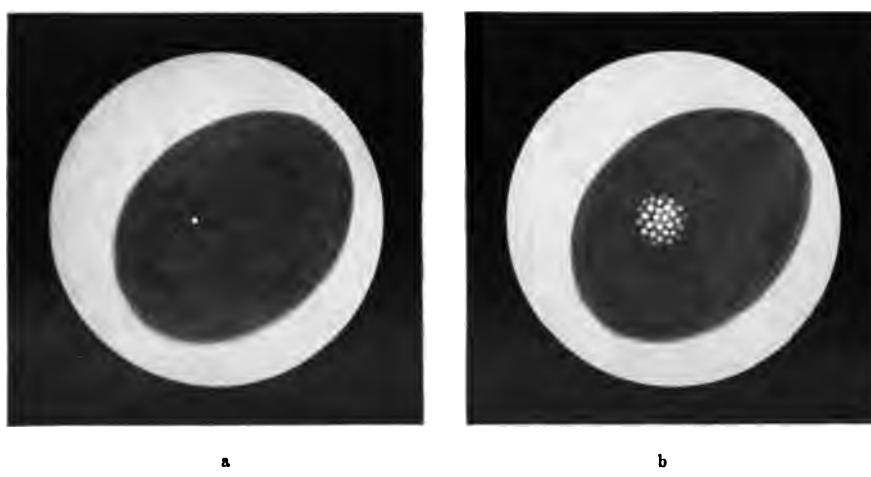


Abb. 15. Tusche-Punkt-Kultur nach BURRI (500fach vergr.).
a ein Tusche-Tropfen mit einem Keim, b die aus dem Keim entstandene Kolonie.

sehr selten. Der Ausdruck „Anhäufungs-“ oder „Anreicherungs-“-Versuch ist zweifellos zutreffender.

Zur Isolierung der anaeroben Bakterien-Arten sind eine Unzahl von meist recht umständlichen und kostspieligen Methoden angegeben worden. Sie sind fast sämtlich entbehrlich. Es ist nur nötig, in die Versuchsgefäße (PETRI-Schalen, Reagenzgläser usw.) etwas mit einer Sauerstoff-absorbierenden Flüssigkeit (Pyrogallol, Natrium-Hydrosulfit u. dgl.) getränkte Watte einzuführen und durch einen luftdichten Verschluß weiteren Sauerstoffzutritt unmöglich zu machen (Abb. 16 b). Noch einfacher ist die „Kultur in hoher Schicht“, die darin besteht, daß man das mit verschiedenen Verdünnungen geimpfte Agar übereinander in eine beiderseits offene Glasröhre füllt, die mit Gummi- und Wattestopfen verschlossen wird (Abb. 16 a). Nach hinreichender Ent-

wicklung der Kolonien, die oft stark Gas bilden und infolgedessen das Substrat zersprengen, lässt man das Agar aus der Röhre herausgleiten und impft von einer isoliert liegenden Kolonie ab. Naturgemäß ist dieses Verfahren lediglich zur Gewinnung von Reinkulturen bestimmt, während

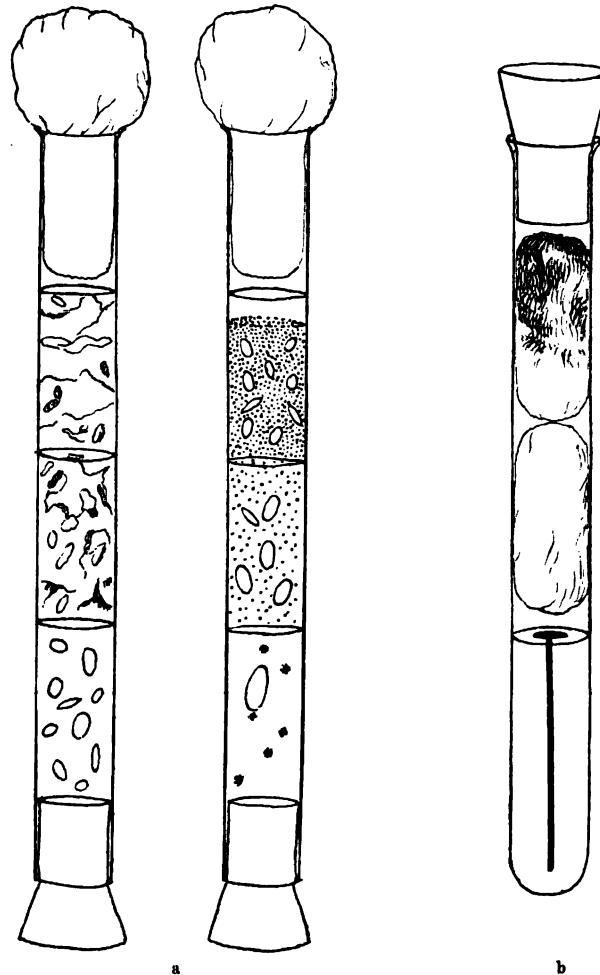


Abb. 16. Anaeroben-Kulturen ($\frac{2}{3}$ nat. Gr.).
a in hoher Schicht, b unter Pyrogallol-Verschluß.

die zuvor beschriebene Methode in den verschiedensten Richtungen Anwendung finden kann.

Sowohl für die Anhäufungsversuche wie für die Weiterzüchtung der landwirtschaftlich wichtigen Mikroorganismen benötigt man eine große Zahl verschiedener Spezial-Nährböden. Oft dienen hierfür als Ausgangsmaterial allerhand natürliche Substrate. So verwendet man

z. B. zur Herstellung der „künstlichen“ Nährböden: Molken, Düngerextrakt, Blatt-Abkochungen, Bodenauszüge u. a. m. Neben diesen für spezielle Zwecke hervorragend geeigneten Substraten gibt es nun aber besonders sechs, fast allgemein brauchbare und in der Tat in allen bakteriologischen Laboratorien fast ständig benutzte Nährböden, die man — namentlich wegen ihrer hohen Bedeutung für die Erkennung der verschiedenen Arten — geradezu als „Standard-Nährböden“ bezeichnet. Es sind dies: Fleisch-Agar, Traubenzucker-Agar, Fleisch-Gelatine, Bouillon, Milch und Kartoffeln. Zur Herstellung der Fleisch-Nährböden dient in allen Fällen Bouillon, die entweder aus frischem Fleisch oder aus Fleischextrakt oder auch aus den im Handel vorkommenden Trockenpräparaten

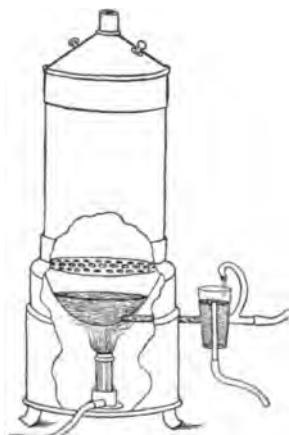


Abb. 17. Dampftopf
nach R. Koch (ca. $1/16$ nat. Gr.).

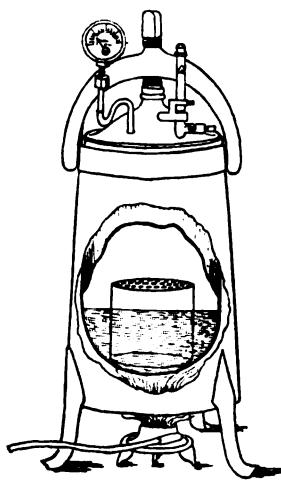


Abb. 18. Autoklav
(ca. $1/10$ nat. Gr.).

bereitet wird. Natürlich sind dabei bestimmte Regeln und Vorschriften zu beachten, auf deren detaillierte Schilderung wir indessen hier verzichten dürfen¹⁾. Das sogenannte Traubenzucker-Agar ist ebenfalls Fleisch-Agar, dem noch eine bestimmte Menge, gewöhnlich $1/2\%$ Traubenzucker zugesetzt wurde.

Die Nährböden werden in Reagenzgläser gefüllt und durch ausgiebiges Erhitzen keimfrei gemacht. Etwaigen Neu-Infektionen durch in der Luft schwebende Bakterien und Pilze beugt man dadurch vor, daß man die Gläser mit Watte verschließt. Deren dichtes Faser-Gewirr setzt zwar nicht der Luft, wohl aber den darin enthaltenen Mikro-

¹⁾ Wer hierüber, wie überhaupt über die Züchtung der landwirtschaftlich wichtigen Mikroben näheres zu wissen wünscht, sei auf mein „Landwirtschaftlich-bakteriologisches Praktikum“ verwiesen.

organismen — bei Beachtung gewisser Vorsichtsmaßregeln — ein unpassierbares Hindernis entgegen. Das Sterilisieren der Nährböden erfolgt entweder im „strömenden Dampf“, im R. KOCHSchen „Dampftopf“ (Abb. 17) oder im „gespannten Dampf“, im „Autoklaven“ (Abb. 18).

Im Autoklav (bei zwei Atmosphären Überdruck) gelingt die sofortige, sichere Abtötung etwa vorhandener Sporen (vgl. S. 81, während im strömenden Dampf nur durch mehrmals wiederholtes Erhitzen, durch das „fraktionierte“ Sterilisieren alle Keime abgetötet werden. Zwischen je zwei aufeinander folgenden Erhitzungen läßt man den Sporen Zeit zum Auskeimen, so daß man die betreffenden Keime beim 2. oder 3. Sterilisieren im vegetativen Zustande antrifft und abtöten kann. Nicht alle Nährböden vertragen die intensive Erhitzung im gespannten Dampf, deshalb muß beim experimentellen Arbeiten bald diese, bald jene Methode in Anwendung gebracht werden.

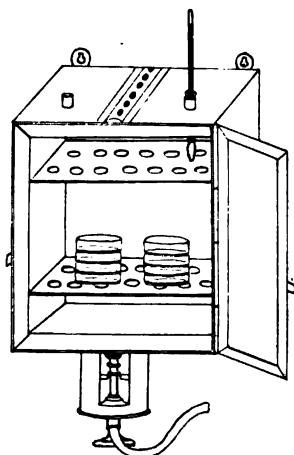


Abb. 19. Heißluft-sterilisator (ca. $\frac{1}{15}$ nat. Gr.).

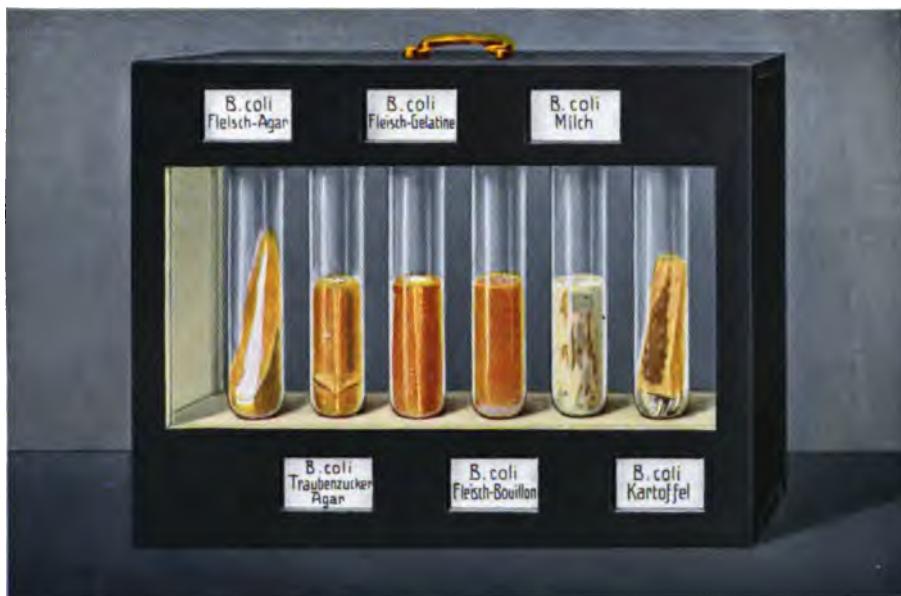
Leere Glasgefäße, z. B. die zur Aufnahme der geimpften Gelatine bestimmten PETRI-Schalen werden im Heißluft-Sterilisator, gewöhnlich „Trockenschrank“ genannt (Abb. 19), sterilisiert. Man treibt hier die Temperatur bis auf ca. 165°C hinauf und läßt sie einige Zeit einwirken. — Zur Übertragung der Bakterien- und Pilzmasse dienen Platindrähte, die in Glasstäbe eingeschmolzen oder in besonderen Haltern befestigt sind. Sie werden entweder als Nadel oder als Öse verwendet. Vor wie nach jedesmaligem Gebrauch werden sie in der Flamme bis zur Rotglut erhitzt.

Untersuchung der Mikroorganismen.

Mit Rücksicht auf die Allgegenwart der Mikroben ist es bei der Durchführung von bakteriologischen Untersuchungen natürlich von größter Bedeutung, alle „Fremdinfektionen“ auszuschließen. Man muß vor allem sicher sein, es wirklich nur mit Keimen von eben der Stelle zu tun zu haben, die man prüfen will. Je nach den obwaltenden Umständen werden die Vorsichtsmaßregeln zu wählen sein. Erste Vorbedingung zur Gewinnung zuverlässiger Resultate ist selbstverständlich der Gebrauch sorgfältig sterilisierter Gerätschaften.

Ist man dann auf dem einen oder anderen Wege zu einwandfreien Reinkulturen gelangt, so sind deren Eigenschaften möglichst eingehend zu studieren. Das Verhalten gegenüber den verschiedenen Existenzbedingungen, die Leistungsfähigkeit in dieser oder jener Richtung, kurz alles das, was für die Mitarbeit am Stoff-Kreislauf bedeutungsvoll ist, muß vor allem eingehend geprüft werden. Die Züchtung der Reinkul-

Tafel V.



1. Kulturen des *Bacterium coli*,
 $\frac{1}{3}$ nat. Grösse.



2. Kulturen des *Bacterium prodigiosum*,
 $\frac{1}{3}$ nat. Grösse.

MnO₂U

turen auf den sechs Standard-Nährböden gibt meist ein recht charakteristisches, für die Erkennung der Art sehr wichtiges Gesamt-Bild.

Auf Tafel V sehen wir zwei Schaukästen, in denen sich die betreffenden Kulturen zweier weit verbreiteten Bakterien befinden. Die erste Art, das *Bacterium coli*, ist eine der häufigsten Darmbakterien. Die Milch wird unter gleichzeitiger Gasbildung gesäuert. Das Gerinnel ist infolgedessen vielfach zerrissen und mit Spalten durchsetzt. Im Traubenzucker-Agar macht sich die Gasentwicklung ebenfalls bemerklich. Auch Geschmack und Geruch der Milch werden gewöhnlich sehr ungünstig beeinflußt. In den milchwirtschaftlichen Betrieben erweisen sich die Coli- und die ihnen nächst verwandten Aërogenes-Bakterien oft als recht unwillkommene Gäste. Die andere Art, das *Bacterium prodigiosum*, ist eine der bekanntesten farbstoffbildenden Bakterien. Auf Fleisch, Brot, Kartoffeln usw. kann es wie Blutstropfen aussehende, aber nach verdorbener Heringslake (Trimethylamin) stinkende Flecke hervorrufen. Die Milch wird dagegen, wie wir sehen, nur oben blaß-rötlich verfärbt; sie gerinnt flockig und der Käsestoff wird z. T. aufgelöst.

Verschiedene der gerade landwirtschaftlich wichtigen Mikroorganismen wachsen allerdings überhaupt nicht oder doch nur sehr kümmерlich auf diesen sechs Standard-Nährböden. Aber auch das ist ein durchaus nicht unwesentliches, negatives Merkmal. Jedenfalls kann keine Bakterien-Art als einigermaßen ausreichend beschrieben gelten, die nicht auf den genannten Substraten geprüft worden ist. Der schrankenlosen Erfindung „neuer Arten“ schiebt diese Forderung einen wirksamen Riegel vor. Weiterhin muß jede genaue Untersuchung aber auch die Variabilität der betreffenden Spezies entsprechend berücksichtigen. Die Anhäufungsversuche, von denen ich vorhin sprach, können in dieser Richtung sehr schätzenswertes Material liefern. Fast immer entwickeln sich in ihnen ganze Serien von Spielarten einer oder mehrerer Spezies, die eine gründliche Durcharbeitung sehr oft auch für den Systematiker äußerst fruchtbar machen.

In Verbindung mit der kulturellen Prüfung muß natürlich auch die mikroskopische Untersuchung vorgenommen werden. In jedem Falle sind die Mikroben, in erster Linie die Bakterien, sowohl lebend — im „hängenden Tropfen“ — wie im abgetöteten Zustande — im gefärbten „Ausstrichpräparat“ — in bezug auf Form, Größe und sonstige morphologische Eigenschaften zu untersuchen.

Der „hängende Tropfen“ wird in der Weise angefertigt, daß man mittels der Platin-Öse ein kleines Tröpfchen der keimhaltigen Flüssigkeit auf ein Deckglas aufträgt und dieses derart auf einen mit einer kreisförmigen Vertiefung versehenen Objektträger befestigt, daß sich das Tröpfchen inmitten des Hohlraumes befindet (Abb. 20).

Bei der Betrachtung der in der Flüssigkeit verteilten und besonders am Tropfenrande deutlich sichtbaren Organismen kann man meist leicht konstatieren, ob sie aktiv beweglich sind oder nicht¹⁾.

Bei der Herstellung des gefärbten Präparates wird, kurz gesagt, so verfahren, daß man das bakterienhaltige Material mit Hilfe der Öse oder der Nadel auf dem Objektträger oder auf dem Deckglase möglichst dünn ausstreicht und zunächst lufttrocken werden läßt. Dann „fixiert“ man das Präparat, indem man es mehrmals durch die Flamme zieht oder mit speziellen Fixierungsmitteln (Alkohol, Osmiumsäure usw.) behandelt. Die Bakterien haften nun — infolge des vollständigen Austrocknens resp. Festbrennens des Schleims — so fest am Glase, daß sie durch die nachfolgenden Prozeduren nicht von ihm entfernt werden können. Nun gießt man irgend welche Lösung eines Anilinfarbstoffes (Methylenblau, Fuchsin, Viktoriablau, Gentianaviolett oder dgl.) auf, läßt diesen einige Zeit einwirken, gießt ab, spült mit Wasser gründlich nach und

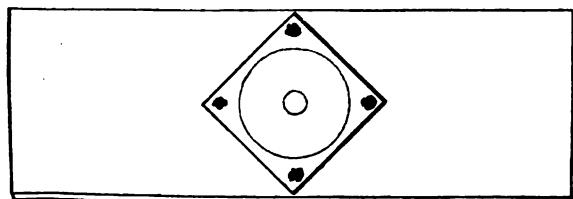


Abb. 20. Hohlgeschliffener Objektträger mit hängendem Tropfen
(nat. Gr.).

läßt die gefärbte Schicht wieder trocken werden. Schließlich kann man das Präparat in Kanada-Balsam „einschließen“, d. h. unter Benutzung dieses in Xylol gelösten Koniifen-Harzes das Deckglas auf dem Objektträger festkitten. Der Balsam erhärtet mit der Zeit und wir haben dann ein sehr haltbares Dauerpräparat.

Recht gute mikroskopische Bilder erhält man oft auch in der Weise, daß man die zu untersuchenden Zellen einfach mit Tusche vermischt, ausstreicht und antrocknen läßt (vgl. Tafel I, Fig. 9—12).

Die mikroskopische Betrachtung erfolgt meist bei ca. 1000-facher Vergrößerung. Würden wir hierzu die gewöhnlichen, für die schwächeren Vergrößerungen gebräuchlichen „Trocken“-Systeme verwenden, so würde nur ein sehr lichtschwaches Bild zustande kommen. Denn es werden natürlich nicht nur die Bakterien in Länge und Breite um das Tausendfache vergrößert, auch das vom Präparat ausgehende Licht erfährt die gleiche Zerstreuung. An den zu bakteriologischen Unter-

¹⁾ Vgl. hierzu das in der zweiten Vorlesung (S. 30) Gesagte.

suchungen benutzten Mikroskopen sind deshalb zwei besondere Vorkehrungen angebracht, deren Erfindung bzw. Ausarbeitung durch den hervorragenden Physiker und großherzigen Menschenfreund ERNST ABBE überhaupt erst ein erfolgreiches Arbeiten auf bakteriologischem Gebiete ermöglicht hat. Es sind dies 1. der ABBESche Beleuchtungs-Apparat, durch den das einfallende Licht sehr stark konzentriert wird, und 2. das homogene Immersions- (d. h. Eintauch-) System, das dahin wirkt, daß die vom Präparat ausgehenden Strahlen möglichst vollständig in das Mikroskop gelangen. Ein zwischen Präparat und Objektiv befindlicher Öltropfen wirkt so, als ob eine solide Glas-Verbindung zwischen beiden Teilen bestände. Die Ablenkung der Lichtstrahlen, wie sie beim Übergange aus Glas in Luft stets stattfindet, ist hier ausgeschaltet.

Über der genauen Prüfung der Reinkulturen dürfen wir aber schließlich auch nicht vergessen, daß im natürlichen Verlauf der Dinge symbiotische und antagonistische Prozesse nicht selten von größtem Einflusse sind. Durch entsprechende Mischung der im einzelnen Falle isolierten Spezies und Varietäten und durch eingehende physiologische Experimente mit diesen gemischten Reinkulturen werden die bakteriologischen Untersuchungen oft erst den richtigen Abschluß finden.

Dies wäre in größter Kürze etwa das, was ich über die Züchtung und Untersuchung der Mikroorganismen an dieser Stelle zu sagen habe. Wie wir sehen, ist die bakteriologische Technik im Prinzip verhältnismäßig recht einfach. Und der Bedarf an Apparaten, Instrumenten und sonstigem Material ist ebenfalls so gering, daß es unschwer durchführbar wäre, wenn sich die landwirtschaftlichen Institute, Versuchsstationen und ähnliche Einrichtungen an der Lösung der überaus zahlreichen und wichtigen Aufgaben auf landwirtschaftlich-bakteriologischem Gebiete in weit größerem Umfange beteiligen würden, als dies bisher im allgemeinen geschah. Eine bis vor kurzem bestehende Schwierigkeit, die ihren Grund darin hatte, daß es nahezu unmöglich war, in der arg zersplitterten Literatur die nötigen Unterlagen für spezielle Forschungen aufzufinden, ist durch neuerdings erschienene, schon in der 1. Vorlesung (S. 16 unter C) angeführte zusammenfassende Werke behoben.

Allerdings würde sich derjenige einer argen Täuschung hingeben, der glauben wollte, mit der Erwerbung der elementaren Kenntnisse und Fertigkeiten auf experimentellem Gebiete sei er auch sogleich in den Stand gesetzt, die kompliziertesten Fragen in kürzester Zeit der Lösung entgegen zu führen. Daß die gründliche Erforschung des Lebens und Wirkens der Bakterien mit so mancher recht erheblichen Schwierigkeit zu rechnen hat, dürfte nach dem bisher Gesagten wohl schon hinreichend klar geworden sein. Gerade wegen ihrer prinzipiellen Einfachheit und

Einheitlichkeit ist die bakteriologische Untersuchungsmethodik außerordentlich anpassungsfähig und geeignet, nach zweckentsprechender Um- und Ausgestaltung auf die verschiedensten Fragen Anwendung zu finden. Es liegt auf der Hand, daß auf einem verhältnismäßig so neuen Forschungsgebiete die Zahl der bisher unbetretenen Wege noch sehr groß und infolgedessen das persönliche Geschick, die Fähigkeit zu scharfer Beobachtung und kritischer Verwertung des Gefundenen vor allem ausschlaggebend ist. Wer auf bakteriologischem Gebiete wirklich Wertvolles leisten will, der muß vor allem dreierlei sein eigen nennen: Umsicht, Überlegung und Ausdauer.

8. Vorlesung.

Bekämpfung der Mikroorganismen (Sterilisation, Pasteurisation und Asepsis):
Physikalische, chemische und kombinierte Methoden. Zweckmäßige Anwendung der verschiedenen Verfahren.

Sterilisation, Pasteurisation und Asepsis. Nachdem wir uns über die Züchtung der Mikroorganismen einigermaßen orientiert haben, müssen wir nun auch die bei deren Bekämpfung vor allem wichtigen Gesichtspunkte kennen lernen. Je nach der Intensität, mit der diese Bekämpfung durchgeführt wird, können wir in der Hauptsache drei Grade unterscheiden:

1. Die Sterilisation und Desinfektion. Angestrebt, aber keineswegs immer erreicht wird eine radikale Vernichtung aller anwesenden Mikroben. Von „Desinfektion“ spricht man vorwiegend dann, wenn es sich um die Abtötung von krankheitserregenden Keimen (von „Infektions“-Erregern) handelt. Der Ausdruck „Sterilisation“ ist der allgemeinere. Natürlich kommen Schwankungen im Wortgebrauch nicht allzu selten vor.
2. Das Pasteurisieren und die Antisepsis. Oft genügt es, die Mehrzahl der vorhandenen Organismen, in erster Linie die vegetativen Formen abzutöten. Handelt es sich um Flüssigkeiten (Milch, Bier usw.), so spricht man gewöhnlich von „Pasteurisieren“. Die Bezeichnung „Antisepsis“ ist fast nur in bezug auf operative Maßnahmen gebräuchlich¹⁾.
3. Die Asepsis. Besser als die Bekämpfung ist natürlich, sofern sich dies ermöglichen lässt, die Fernhaltung aller Fäulniserreger und sonstiger, unerwünschter Organismen („Asepsis“ = „ohne Fäulnis“). Die „aseptische“ Wundbehandlung ist zweifellos besser als die „antiseptische“. Doch auch noch

¹⁾ „Antisepsis“ ist abgeleitet von ἀντί = gegen und σήψειν, fut. von σήπτειν = faulen machen. Die andere zu Ehren PASTEURS gewählte Bezeichnung darf nicht zu der Annahme verleiten, das Verfahren selbst sei von PASTEUR erfunden. Diese Vermutung würde, wie wir aus der ersten Vorlesung wissen, nicht richtig sein. Schon APPERT hat „pasteurisiert“.

manche andere Maßnahmen können wir hierher rechnen, bei denen die Mikroben zwar nicht vollständig ferngehalten, sie aber doch an jeder Tätigkeit so vollständig verhindert sind, daß ebenfalls alle „Fäulnis“ von vornherein ausgeschlossen ist.

Die Methoden, die wir zur Anwendung bringen können, sind — wie in jedem Kampfe — entweder physikalischer oder chemischer oder kombinierter, d. h. physikalischer und chemischer Art. Ein generell bestes Verfahren gibt es selbstverständlich nicht. Je nach den obwaltenden Umständen ist jedesmal der geeignete Weg zu wählen und natürlich vor allem auch der Umfang, in dem die Bekämpfung der Mikroben notwendig erscheint. Der Kostenpunkt, der auch im Kriege gegen die Mikroorganismen eine oft durchaus nicht unwesentliche Rolle spielt, ist dabei stets im Auge zu behalten.

Einen Punkt muß ich — ehe ich auf die verschiedenen Verfahren zu sprechen komme — besonders betonen. Man hört nicht gerade selten die Äußerung, durch das „Sterilisieren“ werde die Milch (bezw. irgend ein anderer Gegenstand) „steril“ oder „keimfrei“. Zweifellos ist diese Ausdrucksweise inkorrekt. Das wäre zwar an sich ziemlich bedeutungslos, wenn nicht mit der Gleichsetzung „sterilisiert = keimfrei“ sehr oft auch eine irrtümliche Vorstellung von dem wirklichen Sachverhalt verbunden wäre. Tatsächlich verhält es sich mit sterilisierten Nahrungsmitteln ungefähr so, wie mit — einer Erbsensuppe! Wie die Erbsen beim Kochen der Suppe, so verlieren die Bakterien beim Sterilisieren der Milch usw. lediglich ihre Keimfähigkeit. Sterilisierte Milch ist also ebensowenig von den zuvor darin vorhandenen Bakterien „befreit“, wie die Erbsensuppe von den Erbsen. Im Gegenteil gehen hier wie dort allerhand Substanzen aus den abgetöteten Zellen in die Flüssigkeit über. Z. B. können in Milch und Fleisch giftige, hitzebeständige Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen vorhanden sein, die durch das Erhitzen in keiner Weise beeinflußt werden. Ja selbst wenn es ausnahmsweise, wie bei wässerigen Lösungen möglich ist, durch Filtration die Bakterien selbst wieder zu entfernen, so bleiben immer noch die Spuren ihres Wirkens, d. h. die löslichen Stoffwechselprodukte, darin zurück. Eine vollkommene Wiederherstellung der ursprünglichen, wirklich keimfreien Beschaffenheit ist also in allen diesen Fällen ausgeschlossen.

Eine Möglichkeit gibt es allerdings, um sowohl die Bakterien wie deren Stoffwechselprodukte restlos zu zerstören; das ist die direkte Einwirkung des Feuers. Aus naheliegenden Gründen muß die Anwendung dieses Verfahrens auf ein relativ enges Gebiet beschränkt bleiben. Im bakteriologischen Laboratorium werden alle Gegenstände, die es vertragen, in der offenen Flamme bis zur Rotglut erhitzt oder

doch wenigstens „abgeflammt“. Bei schweren Epidemien muß eventuell zum Verbrennen der Kleidungsstücke, Betten usw. gegriffen werden. Ebenso beruht die hygienische Bedeutung der Leichenverbrennung in der absolut sterilisierenden Wirkung des Feuers bezw. der sehr hoch erhitzten Gase. — Doch das sind, wie gesagt, Ausnahmefälle. In der Regel muß man sich bei dem bescheiden, was sich mit Hilfe der weniger radikal wirkenden physikalischen und chemischen Methoden erreichen läßt.

Physikalische Methoden. Die uns zur Verfügung stehenden physikalischen Hilfsmittel sind folgende vier: 1. Hohe Temperaturen, 2. Austrocknung, 3. schädlich wirkende Strahlen, 4. mechanische Entfernung der vorhandenen Keime.

Tiefe Temperaturen schaden, wie wir wissen, den Bakterien und Pilzen nur sehr wenig. Sie wirken hemmend, aber nicht vernichtend auf die Keime, also nur konservierend, nicht sterilisierend auf die Nahrungsmittel. In Kühlräumen aufbewahrte Vorräte an Fleisch, Butter, Milch usw. sind nicht unbeschränkt haltbar. Die Entwicklung der psychrophilen Organismen sowie die fortschreitende Wirkung von allerhand Enzymen machen sich früher oder später unangenehm bemerkbar.

Weit größer ist dagegen der keimschädigende Effekt hoher Temperaturen. Vor allem kann die Erhitzung im feuchten Zustande sehr eingreifend wirken. Die Leistungen und Anwendungs-Möglichkeiten dieser Methode wollen wir zunächst ins Auge fassen.

Längerer Aufenthalt bei feuchter Wärme von 45—55° C tötet bereits zahlreiche Bakterien und Pilze. Das bei der Herstellung verschiedener Hartkäse übliche „Nachwärmeln“ des Bruches dezimiert speziell die in diesen Käsen durch starke Gasbildung eventuell schädlich wirkenden „Blähungs-Erreger“. Außerdem wirkt das Verfahren allerdings auch direkt auf die Konsistenz des Käseteiges vorteilhaft ein. — Wird keimarme Milch $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Stunde bei ca. 55° C pasteurisiert, so wird ihre Haltbarkeit außerordentlich — oft auf mehrmonatliche Dauer — erhöht. Die in solcher Milch fast allein vorhandenen Mikrokokken sterben bei dieser Behandlung meist vollständig ab. — Im schwitzenden Heu sowie im Braunheu führt die tage- und wochenlang einwirkende feuchte Wärme von etwa 40—60° C zu einer ziemlich vollständigen „Selbst-Sterilisierung“. Auch das „Brennen“ des Bodens, das zwar in Europa ziemlich aus der Übung gekommen ist, aber in anderen Gebieten noch eine nicht unwichtige Rolle spielt (z. B. als „Rab“-System in Indien), übt unter anderem einen günstigen Einfluß in mikrobiologischer Hinsicht aus. Wie es scheint, kommt dieses Resultat vornehmlich dadurch zustande, daß ein großer Teil der Protozoen abgetötet wird. Übrigens kommt in den Tropen, wenigstens stellenweise, schon die bloße Erwärmung des Bodens durch die Sonne einer

partiellen Pasteurisierung gleich. In Treibhäusern erreicht man dasselbe durch das — besonders in England übliche — Einleiten von Dampf in den Boden.

Etwas durchgreifender muß sich die Pasteurisierung bei der gewöhnlichen, keimreichen Milch gestalten. Die Temperatur wird hier auf 65—95° C erhöht. Während im zuletzt genannten Falle die angestrebte Wirkung augenblicklich erzielt wird, ist bei Innehaltung der niederen Temperatur ein befriedigender Erfolg nur durch eine Dauer-Pasteurisation erreichbar. Die Änderungen in der chemischen Zusammensetzung und die Verschlechterung von Geschmack und Geruch der Milch gehen im allgemeinen parallel mit der Höhe des Erhitzungsgrades. Man bevorzugt deshalb für Trink- und Käserei-Milch eine 30—45 Minuten währende Dauer-Pasteurisation bei etwa 65° C. Für die Pasteurisierung des zur Verbutterung bestimmten Rahmes und der als Futter verwendeten Magermilch, Molken usw. ist dagegen die kurzdauernde Erhitzung auf 90—95° C das üblichere Verfahren. Arbeiten die benutzten Apparate vorschriftsmäßig, so werden alle sporenenfreien Krankheitserreger durch diese Arten der Pasteurisierung sicher abgetötet¹⁾. Verhältnismäßig die größten Schwierigkeiten stehen einer wirklich durchgreifenden Dauer-Pasteurisation bei ca. 65° C entgegen. Oft läßt die Gleichmäßigkeit in der Erwärmung der Milch zu wünschen übrig.

Am sichersten dürfte das Ziel erreicht werden in den mit vermindertem Druck arbeitenden Vorrichtungen nach Art des RUBNER'schen Universal-Apparates oder des sogen. Hamburger Apparates²⁾ sowie in dem mit (bei 66° C siedendem) Methylalkohol beschickten Pasteurisierungsapparat nach P. MAZÉ³⁾. Aussichtsreich scheint auch das Verfahren zu sein, bei dem die sehr fein zerstäubte Milch einer momentanen Erhitzung auf ca. 75° C ausgesetzt wird⁴⁾. Die chemischen Änderungen bleiben auch in diesem Falle sehr gering, während die Bakterien, wie es scheint, fast vollständig abgetötet werden.

Nach der deutschen Gesetzgebung müssen die zur Verfütterung bestimmten Rückstände der Sammelmolkereien sämtlich einer ausreichenden Erhitzung unterworfen werden, sofern nicht die Kühe, deren Milch zur Verarbeitung gelangt, einem staatlich anerkannten Tuberkulose-Tilgungs-Verfahren unterstellt sind⁵⁾. Beim Auftreten von Maul- und Klauen-Seuche usw. ist selbstverständlich in allen Fällen eine ausreichende Pasteurisierung nötig. Als solche gilt eine

30 Minuten lange Erhitzung auf 70° C, oder
eine 1—2 „ dauernde „ „ 85° C, oder
eine momentane „ „ 95° C.

¹⁾ Sporenbildende Krankheitserreger sind, wie ich bereits (S. 40) erwähnte, relativ selten; in Milch kommen sie kaum jemals vor.

²⁾ TRAUTMANN, Der Gesundheitsingenieur, Bd. 32, 1909, S. 731; R. HANNE, ebenda, Bd. 34, 1911, S. 489.

³⁾ MAZÉ, Annal. de l'Institut Pasteur, T. 24, 1910, p. 456.

⁴⁾ HERRING, Comptes rendus de la Société de Biologie, T. 68, 1910, p. 668; LOBECK, Deutsche medizinische Wochenschrift, Bd. 38, 1912, S. 2082.

⁵⁾ Deutsches Viehseuchen-Gesetz vom 26. Juni 1909.

Herrschende Seuchen im Viehbestande, so muß selbstverständlich danach gestrebt werden, außer in der Milch auch im lagernden Stalldünger mit Sicherheit die darin vorhandenen Krankheitserreger abzutöten. Dazu stehen uns, wie wir noch sehen werden, eine ganze Anzahl chemischer Desinfektions-Mittel zu Gebote. Außerdem können wir uns aber auch die „Selbsterhitzung“ des Düngers zunutze machen, um schon auf diesem Wege die Tötung der betreffenden Mikroben zu bewirken.

Zu diesem Zwecke ist das Kot-Strohgemisch, in dem etwa 2 Teile Kot auf je 3 Teile Stroh entfallen sollen, mäßig mit Jauche zu befeuchten, nicht sehr fest gepackt, 1—1½ m hoch aufzuschichten und mit Stroh und Erde zu bedecken. Die Temperatur steigt bei Beachtung dieser Regeln innerhalb weniger Tage auf ca. 70° C und hält sich einige Zeit auf dieser Höhe, was zur Abtötung der sporenenfreien Krankheitserreger voll auf genügt^{1).}

Wie wir wissen, tötet das Kochen der Nahrungs- und Futtermittel sowie der strömende Dampf (von ca. 100° C. Wärme) in Dampf- und Desinfektions-Apparaten die Dauerformen ebenfalls nicht oder doch nur teilweise ab. Zweifellos ist das Abkochen der Milch kurz vor der Verwendung im Haushalte besser als die Verwendung pasteurisierter Handelsmilch, in der nachträglich nicht selten eine starke Vermehrung der überlebenden Keime konstatiert werden kann^{2).} Es ist aber irreführend, wenn speziell die Vorrichtungen zum Abkochen der Kindermilch als „Sterilisier-Apparate“ bezeichnet werden. Von einer durchgreifenden Sterilisierung kann nicht die Rede sein. Im Gegenteil kann in dieser Weise behandelte Milch, namentlich dann, wenn sie in nicht genügend gekühltem Zustande längere Zeit aufbewahrt wird, geradezu giftige Eigenschaften annehmen. Verschiedene sporenbildende Arten geben mitunter zu dieser gefährlichsten Veränderung der fälschlich sogenannten „sterilisierten“ Kindermilch Veranlassung.

Auch stundenlange Erhitzung auf ca. 100° C tötet nicht alle Keime. Nur bei Zuhilfenahme des gespannten Dampfes wird eine wirkliche Sterilisierung möglich. Sporen gehen ja erst bei ca. 130° C (2 Atmosphären) rasch zugrunde. Leider verträgt die Milch eine derartige Behandlung entweder überhaupt nicht (es tritt Gerinnung ein), oder sie wird doch im Ausschenen, Geschmack und Geruch so nachteilig verändert, daß speziell bei der Herstellung von Dosenmilch für den Exporthandel diese zuverlässigste Methode nicht benutzt werden kann. Fleisch- und Gemüse-Konserven werden in den Fabriken gewöhnlich eine Stunde lang auf 116—120° C erhitzt. Nachträgliche Zersetzung

¹⁾ BOHTZ, Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheits-Amt, Bd. 33, 1910, S. 313.

²⁾ Auch für Milch-Ausschankstellen sowie größere Viehhaltungen können zweckmäßig konstruierte Milch-Kochapparate sehr empfehlenswert sein, vgl. N. AUERBACH, Deutsche medizin. Wochenschrift, Bd. 38, 1912, S. 1461.

sind auch hierbei nicht vollkommen ausgeschlossen. Indessen ist zweifellos die Mehrzahl der bekannt gewordenen Fälle weniger auf eine unvollkommene Sterilisierung als vielmehr auf Neu-Infektionen des Inhalts schadhafter Büchsen zurückzuführen. Milch darf nicht höher als bis auf 105° C erhitzt werden. In der Regel wird die „sterilierte“ Handelsmilch während $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ Stunde einer Temperatur von 102—104° C ausgesetzt. Es ist klar, daß hierbei eine restlose Abtötung aller Keime nur in Ausnahmefällen stattfindet. In der Tat sind denn auch zahlreiche, im großen Durchschnitt etwa die Hälfte, zuweilen aber auch sämtliche Proben „sterilisierter“ Handelsmilch bei genauer Nachprüfung keimhaltig befunden worden. Nur auf zwei Wegen kann man mit ziemlicher Sicherheit zum Ziele gelangen: Entweder man verwendet eine sehr sauber gewonnene, von resistenten Dauerformen freie Milch, oder man verfährt, wie bei der Herstellung der im Laboratorium gebrauchten Nährböden nach dem Prinzip der fraktionierten Sterilisation. Natürlich bedingt aber die wiederholte Erhitzung nicht nur eine wesentliche Erhöhung der Kosten, sondern auch eine merkliche Verschlechterung der Milchqualität, so daß im allgemeinen der zuerst genannte Ausweg als der vorteilhaftere angesehen werden muß.

Historisch interessant ist, daß schon vor mehr als 100 Jahren der berühmte französische Chemiker GAY-LUSSAC fand, daß wiederholt erhitzte Milch dauernd süß erhalten werden kann¹⁾.

Heiße Luft wirkt weit weniger intensiv, als Dampf von gleicher Temperatur. Wenn wir uns vergegenwärtigen, wie verschieden unser Körper auf ein Luftbad von etwa 35° C und auf ein gleich warmes Wasserbad reagiert, so gewinnen wir, glaube ich, einen hinreichend überzeugenden Eindruck von der ungleichen Wirkung trockner und feuchter Hitze. Es dürfte danach leicht verständlich sein, daß es bei allen Desinfektionen und Sterilisationen durch Dampf sehr wesentlich darauf ankommt, daß die vorher den Raum erfüllende Luft vollständig durch den Dampf verdrängt wird. Sowohl bei der Konstruktion wie bei der Benutzung derartiger Einrichtungen darf dieser Punkt nie aus dem Auge verloren werden.

Das Ausdämpfen von Molkerei-Gerätschaften, Rohrleitungen usw. kann demnach nur als eine relativ unvollkommene Maßregel angesehen werden. Selbstverständlich ist aber auch dieses Verfahren — sofern nur der Dampf nicht schlecht riecht, was bei manchem Wasser allerdings häufig vorkommt — besser als gar keines. Der an sich schon verhältnismäßig geringe Effekt des gewöhnlich vorhandenen Dampf-Luft-Gemisches wird leider noch dadurch weiter de-

¹⁾ Vgl. BERZELIUS, Lehrbuch d. Chemie, übersetzt von WÖHLER, 3. Aufl., Bd. 3, 1840, S. 706.

primiert, daß in den nach der Behandlung zurückbleibenden Wasser-Tropfen von neuem eine recht lebhafte Bakterien-Wucherung einsetzen kann.

Für die Gewinnung einer wirklich keimarmen Milch ist die ausgiebige Erhitzung aller Gerätschaften, Gefäße, Flaschen usw. im trockenen Zustande in Heißluft-Sterilisatoren von größter Bedeutung. Besonders für aus Glas angefertigte Gegenstände hat sich die Trocken-Sterilisation bei 160—165° C wie im Laboratorium, so auch im praktischen Betriebe sehr gut bewährt. Dagegen leiden die Metallgeräte, sofern sie nicht speziell für diesen Zweck hergestellt wurden, bei dieser starken Erhitzung (besonders an den Lötstellen) leicht Schaden. Man muß nötigenfalls niedrigere Temperaturen (etwa 130—140° C) längere Zeit ($\frac{3}{4}$ —1 Stunde) einwirken lassen.

Nach der Anwendung hoher Temperaturen hatte ich vorhin als zweites physikalisches Verfahren der Bakterien-Bekämpfung die Austrocknung genannt. Naturgemäß kann von einer einigermaßen vollständigen Abtötung besonders dann nicht die Rede sein, wenn die Trocknung bei gewöhnlicher Temperatur erfolgt. Nur die Tätigkeit, nicht das Leben der Mikroorganismen bringen wir in diesem Falle zum Stillstand. Aber das genügt ja für die Aufbewahrung von Heu, Stroh usw. Erfolgt die Trocknung mittels maschineller Einrichtungen bei erhöhter Temperatur, so findet zwar auch keine Sterilisierung, wohl aber eine ausgiebige „Pasteurisierung“ statt. Trockenmilch, Kartoffelflocken usw. sind nicht keimfrei, aber keimarm, sofern nicht allzu reichliche, nachträgliche Neuinfektionen stattfanden.

Die Benutzung schädlich wirkender Strahlen ist der dritte Weg, um das Leben der niederen Organismen zu hemmen oder zu vernichten. Nur die ultravioletten Strahlen wurden bisher praktisch nutzbar gemacht. Die Ergebnisse, die man bei der Trinkwasser-Behandlung erzielt hat, lauten im ganzen recht günstig. Sicher ist das Verfahren, das besonders in Frankreich viel Bearbeiter gefunden hat, recht aussichtsreich. Anders verhält sich die Sache mit der Behandlung der Milch mittels ultravioletter Strahlen. Nur in reinem, nicht in trübem Wasser ist die keimtötende Kraft dieser Strahlen groß. Sie ist nahezu gleich Null in allen Flüssigkeiten, die — wie die Milch — Kolloide enthalten. Intensive Bestrahlung koaguliert die Eiweißstoffe, zersetzt das Fett und zerstört die Enzyme der Milch. Die Angaben des Erfinders der „Uviolmilch“ lauten allerdings ganz anders: Sämtliche krankheitserregende Keime sollen sicher abgetötet, oder doch unwirksam gemacht werden, dagegen sollen alle harmlosen oder nützlichen Milchbakterien verschont und ebenso die ursprünglichen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Milch unverändert erhalten bleiben. Be-

weise für diese höchst wunderbaren Leistungen der ultravioletten Strahlen sind freilich nie erbracht worden. Und wie gesagt lauten die bereits in recht großer Zahl von den verschiedensten Seiten bei kritischen Nachprüfungen erhobenen Befunde übereinstimmend so ungünstig für das Verfahren, daß man dieses als empfehlenswert jedenfalls nicht wird bezeichnen können¹⁾.

Als viertes Hilfsmittel habe ich das mechanische Entfernen der Keime angeführt. Alles Scheuern, Bürsten, Putzen usw. entfernt selbstverständlich zugleich mit den Schmutzansammlungen auch zahlreiche Bakterienherde, und arbeitet so einer durchgreifenden Desinfektion sehr wesentlich vor. Aber, wie gesagt, ist auch die größte, durch diese Maßnahmen herbeigeführte Sauberkeit nicht ohne weiteres als wirkliche Reinheit in bakteriologischer Hinsicht aufzufassen. Die geringsten Unebenheiten der Oberfläche, und wenn sie nur Hundertstel Millimeter hoch sind, gewähren den dazwischen vorhandenen Bakterien eine sehr ausgiebige Deckung. Und selbst viele größere Vertiefungen, Ecken, Spalten usw. werden auch bei sehr sorgfältiger Arbeit oft nur ganz oberflächlich berührt.

Eine vollkommene mechanische Entfernung aller Keime ist nur in gewissen Fällen durch Filtration möglich. Am einfachsten und zuverlässigsten erweist sich jedenfalls die Filtration der Luft durch Watte. Daß sie für das bakteriologische Arbeiten sehr wichtig ist, wissen wir bereits. Aber auch für praktische Zwecke können solche Watte-Luftfilter recht nützlich sein. Das gilt z. B. für Hefen- und Bakterien-Reinzucht-Gefäße in Brauereien und in milchwirtschaftlichen Betrieben (Käserien) sowie für manche maschinelle Melk-Einrichtungen. Stets muß die Watte genügend dicht und vor allem trocken sein. Feucht gewordene Watte wird von Schimmelpilzen relativ leicht durchwachsen, ganz besonders gilt dies für die gewöhnliche, fetthaltige Watte. Im Laboratorium gibt man deshalb der entfetteten Watte meist den Vorzug.

Für die Filtration von Trinkwasser und anderen Flüssigkeiten hat man besondere Bakterienfilter aus sehr feinporigem Material, Porzellan, Kieselgur, Asbest, Zellulose u. a. hergestellt. Verhältnismäßig die größte Verbreitung fanden die von CHAMBERLAND erfundenen Filter-Kerzen aus unglasiertem Porzellan sowie die aus Kieselgur (Diatomeen-Erde) hergestellten Filter der Firma W. BERKEFELD in Celle (Hannover). Abb. 21 zeigt in $\frac{1}{6}$ der natürlichen Größe zwei Filter-Kerzen nach Chamberland, wie sie als Einsätze in allerhand Apparaten im bakterio-

¹⁾ Die bis zum Herbst 1909 erschienenen Arbeiten habe ich in meinem „Handbuch der landw. Bakteriologie“, 1910, S. 272 besprochen. Seither sind sechs, sämtlich ungünstig lautende Untersuchungs-Berichte erschienen.

logischen Laboratorium Verwendung finden. Abb. 22 zeigt in entsprechender Verkleinerung im Durchschnitt zwei für den Hausgebrauch bestimmte Trinkwasserfilter der Firma BERKEFELD. Bei der einen direkt mit der Wasserleitung verbundenen Einrichtung wird das seitlich einströmende Wasser durch den Druck, unter dem es steht, in das Innere der Kerze gepreßt, aus der es dann oben abfließt. Bei dem Tropffilter sickert das oben in das Steingutgefäß eingefüllte Wasser durch die Kerze in den unteren Behälter ab.

Leider kranken alle diese Filter daran, daß sie nicht absolut keimdicht sind. Selbstverständlich ist es recht schwierig, die poröse Masse



Abb. 21. CHAMBERLAND-Filterkerzen, glatte und gerippte Form (1/8 nat. Gr.).

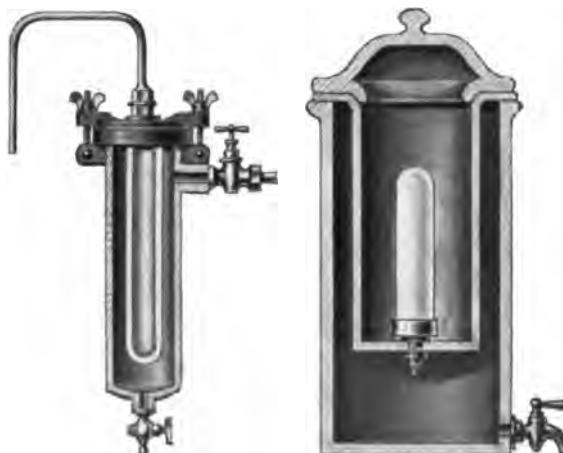


Abb. 22. BERKEFELD-Filter (1/8 nat. Gr.),
links: Hausfilter zum Anschließen an die Wasserleitung mit durchschnittener Kerze; rechts: Durchschnitt eines Tropf-Filters.

so durchaus gleichmäßig herzustellen, daß die Filtration genügend rasch von statten geht, aber auch die kleinsten Bakterien sicher zurückgehalten werden. Bei der bakteriologischen Prüfung erweisen sich nicht wenige Kerzen als mangelhaft. Aber auch die zunächst vollkommen tadellosen Filter liefern nur einige Zeit keimfreies Wasser. Die Bakterien durchwachsen die Kerze. In Gestalt besonders dünner Fäden bahnen sie sich aktiv ihren Weg durch die Poren von ca. $0,1 \mu$ Durchmesser.

Man hat neuerdings versucht, die Filterkerzen durch Überziehen mit einer Kolloidumschicht vollkommen keimdicht zu machen¹⁾. Für das Laboratorium mag das Verfahren recht zweckmäßig zu sein, ob für die große Praxis, scheint mir zweifelhaft.

¹⁾ GRENET et SALIMBENI, Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 152, 1911, p. 916.
Löhniß, Vorlesungen.

Besonders unerfreulich ist es aber, daß gewisse Krankheitserreger auch die feinsten Poren anstandslos passieren. Dahin gehören die Erreger der Pocken, der Maul- und Klauenseuche, der Schweinepest, der Rinderpest, der südafrikanischen Pferdesterbe, der Lungenseuche der Rinder, der Geflügeldiphtherie, der Tollwut u. a. m. Man wird also, um sicher zu gehen, besser andere Methoden wählen, auf die ich, soweit dies nicht schon geschah, noch zu sprechen komme.



Abb. 23. Sand- und Kies-Filter (ca. $\frac{1}{35}$ nat. Gr.).

Sofern es sich um die Reinigung großer Wassermengen handelt, begnügt man sich vielfach mit derjenigen Keimverminderung, wie sie in den großen Kies- und Sandfiltern erreichbar ist. Abb. 23 zeigt einen (etwas schematisierten) Durchschnitt durch einen Teil eines städtischen Filterwerks in $\frac{1}{35}$ der natürlichen Größe. Damit ein guter Reinigungseffekt erzielt wird, müssen eine ganze Reihe von Vorbedingungen erfüllt sein.

Vor allem muß sich die betreffende Filterabteilung „eingearbeitet“ haben, d. h. es muß sich auf und in den obersten Sandschichten eine Lage feinsten Schlammes angesammelt haben. Dies ist der am stärksten filtrierend wirkende Teil. Ferner ist die Durchflußgeschwindigkeit des Wassers sorgfältig zu regeln und zu kontrollieren. Sie soll 100 mm pro Stunde nicht überschreiten. Weiter muß etwaigen Störungen des Betriebes durch übermäßige Algenentwicklung im Sommer bzw. durch Frostwirkung im Winter nach Möglichkeit vorgebeugt werden. In allen Fällen ist eine regelmäßige bakteriologische Betriebskontrolle nicht zu entbehren¹⁾.

Die Krankheitserreger werden indessen auch bei tadellosem Funktionieren der Filter leider nicht mit voller Sicherheit aus dem Wasser entfernt. Günstiger stellt sich in dieser Hinsicht das Grundwasser dar, namentlich soweit es hinreichend mächtige Erdschichten passiert hat. Daß dünne Erdlagen nicht ausgiebig filtrierend wirken, kann man ja speziell bei ländlichen Wasserleitungen oft genug konstatieren. Die Nähe der Düngerrinne oder eine etwaige Jauchedüngung beeinflußt hier bedauerlicherweise ziemlich häufig die Qualität des Wassers in recht nachteiliger Weise. Sind dagegen die filtrierenden Erdschichten mächtig genug, so ist solches Grundwasser so keimarm und einwandfrei wie reines Quellwasser. Man gibt denn auch neuerdings dem durch Einleiten von Oberflächenwasser in tiefe Erdschichten erzielten „künstlichen Grundwasser“ vielfach den Vorzug vor dem aus Sand- und Kiesfiltern stammenden Reinwasser.

Entgegen einer ziemlich weit verbreiteten Annahme, wirkt das Filtrieren der Milch nur wenig keimvermindernd. Größere Bakterien-Konglomerate sowie einzelne Mikroben, die relativ großen Fremdkörpern (Haaren, Hautschuppen, Kot-Teilchen) anhaften, werden allerdings zurückgehalten. Im übrigen sind aber die 1—2 μ messenden Bakterien wesentlich kleiner als die 4—10 μ im Durchmesser haltenden Fettkügelchen. Da diese jedoch das Filter glatt passieren müssen, so ist auch jeder Versuch, auf diesem Wege eine durchgreifende Keim-Verminderung zu erzielen, von vornherein aussichtslos.

Chemische Methoden. Chemische „Antiseptica“ und „Desinficientia“ sind bereits in sehr großer Zahl bekannt und ihre Zahl wächst von Tag zu Tag. Besonders für die Desinfektion i. e. S., also für die Bekämpfung von Krankheitserregern im Wohnhaus, Stall usw. stehen die verschiedensten anorganischen und organischen Substanzen zur Verfügung. Weniger angebracht und z. T. entschieden unzulässig ist es, wenn den zur menschlichen Ernährung bestimmten Gegenständen derartige Stoffe hinzugefügt werden. Mit Recht untersagen die Gesetze der meisten Kulturländer die Verwendung solcher „Konservierungsmittel“, „Präserve-

¹⁾ Ausführliche Angaben finden sich u. a. in einer Arbeit von R. KOCH, Zeitschr. f. Hygiene Bd. 14, 1893, S. 393. Vgl. auch den entsprechenden Abschnitt im III. Bande von LAFARS Handbuch der technischen Mykologie.

salze“ usw. entweder vollständig oder sie enthalten doch für deren Gebrauch gewisse einschränkende Bestimmungen (Deklarationspflicht u. dgl.)

Ob eine Substanz entwicklungshemmend oder tödlich wirkt, hängt vor allem von dem jeweiligen Konzentrations-Grade ab. Stoffe, die in größeren Mengen genossen, starke Gifte sind, bleiben in kleinen Quantitäten vollkommen unschädlich, und in noch stärkerer Verdünnung üben sie sogar meist einen deutlich fördernden Reiz auf den Organismus aus. Alkohol und Nikotin dürften wohl die bekanntesten Beispiele in dieser Richtung sein. Daß indessen auch die eigentlichen „Nahrungsmittel“, im Übermaß genossen, schädlich wirken, also die Natur von „Giften“ annehmen können, ist ebenfalls eine Erfahrungstatsache, die im Prinzip für Mensch wie Bazillus gleich wichtig ist.

Eine allgemein gültige Skala der „Giftigkeit“ der verschiedenen Substanzen gibt es selbstverständlich nicht. Wohl können wir von „starken“ und von „schwachen“ Giften reden. Aber im einzelnen machen sowohl innere wie äußere Ursachen mannigfach modifizierende Einflüsse geltend. Vor allem ist die ungleiche Resistenz der Organismen stets im Auge zu behalten. Nicht nur die Sporen an sich und die vegetativen Formen als solche differieren in dieser Hinsicht; auch die vegetativen Zellen bezw. die Sporen ein und derselben Art verhalten sich ungleich je nach Alter, Ernährungszustand und sonstigen Besonderheiten. Schon bei der Anwendung physikalischer Methoden stellen sich nicht selten auffällige Unterschiede in der Widerstandsfähigkeit der Zellen einer Art heraus. Soweit die „Gift-Festigkeit“ resp. Empfindlichkeit in Frage kommt, sind diese Differenzen noch weit häufiger und stärker ausgeprägt. Auch die Anpassung, die Angewöhnung an die Gifte, spielt hier eine größere Rolle. Nur mit mancherlei „Wenn und Aber“ kann deshalb über die chemischen Methoden der Bakterienbekämpfung gesprochen werden.

Besonders muß ich noch darauf hinweisen, daß die Enzyme der Mikroben fast immer viel ausdauernder sind als diese selbst. Kleine Giftmengen, durch die Wachstum, Vermehrung, Beweglichkeit und die anderen sichtbaren Merkmale des Lebens unterbunden werden, schädigen die Enzyme entweder gar nicht oder doch nur in geringem Grade. Im Laboratorium wird von diesem differenten Verhalten bei Enzym-Studien vielfach Anwendung gemacht. Aber es ist auch in praktischer Hinsicht jedenfalls beachtenswert, daß die Vermehrung der Mikroorganismen relativ leicht, die von ihnen bezw. durch die von ihnen produzierten Enzyme ausgelösten Umsetzungen dagegen viel schwieriger gehemmt werden können.

Wir wissen, daß im allgemeinen besonders die Bakterien, weniger die Pilze sehr empfindlich gegen Säuren sind. Das Konservieren von Nahrungs- und Futtermitteln, sei es durch Selbstsäuerung, sei es durch

direkten Säure-Zusatz (Essig u. dergl), trägt dieser Tatsache Rechnung. Ist der Säure-Gehalt verhältnismäßig gering, so muß die Luft sorgfältig ferngehalten werden; andernfalls entwickeln sich Sproß- und Schimmel pilze, die säurezerstörend wirken. Die schwächste Säure, d. h. die Kohlensäure, wirkt nur bei gleichzeitiger Drucksteigerung, also im komprimierten Zustande, ein wenig konservierend. In Rußland und in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika hat eine „karbonisierte“ Milch ziemlich viel Anklang gefunden, deren Haltbarkeit auf diesem Wege etwas erhöht worden ist. Ich wies aber schon gelegentlich darauf hin, daß auch die mit Kohlensäure gesättigten Mineralwässer und Limonaden doch eine recht ansehnliche Keimzahl aufweisen können. Gewöhnliche saure Milch enthält etwa $1\frac{1}{2}\%$ Säure; sie unterliegt ziemlich rasch weitergehenden Zersetzung. In sauren Gurken, Sauerkraut und Sauerfutter stellt sich der Säuregehalt auf ca. 1%; infolgedessen ist die Haltbarkeit schon recht ansehnlich. In den orientalischen Sauermilch-Sorten (Jaourt usw.) können reichlich 2% Säure entstehen; es handelt sich hier um eine richtige „Dauermilch“, deren Geschmack dann allerdings nicht jedermann zusagt. Von anorganischen Säuren kommt speziell die Schwefelsäure für eine etwa erforderliche Desinfektion des Düngers (in Mengen von 2—3%) in Frage. Kiesel-Fluorwasserstoffsäure wird in Form von Montanin in 2—4-proz. Lösung zur Abtötung der an Holz, Kautschuk usw. haftenden Keime, besonders in Brauereien und Brennereien ziemlich viel benutzt.

Die antiseptische Wirkung der verschiedenen Säuren richtet sich nicht nach deren Wasserstoff-Jonen-Konzentration, sondern, wie es scheint, nach ihrem Vermögen, die Zellwand zu durchdringen. Bei einigen an der milchwirtschaftlichen und bakteriologischen Anstalt auf dem Liebefeld bei Bern durchgeführten Versuchen ergaben sich folgende relative Zahlen für den Wirkungswert:

Salzsäure	100	Essigsäure	100
Salpetersäure	100	Propionsäure	100
Schwefelsäure	80	Milchsäure	100
Phosphorsäure	60	Citronensäure	40
Ameisensäure	100	Weinsäure	20

Bei den geprüften (milchwirtschaftlich wichtigen) Bakterien blieb die Rangordnung dieser Säuren im wesentlichen dieselbe. Dagegen war natürlich die Säure-Resistenz der verschiedenen Arten teils hoch, teils sehr gering¹⁾.

Stark alkalisch reagierende Stoffe finden ebenfalls oft mit Nutzen Verwendung. Aus gebranntem Kalk frisch hergestellte Kalkmilch ist ein für Ställe und Molkereien recht geeignetes Desinfektionsmittel. Noch wirksamer ist eine aus gleichen Teilen Kalkmilch und 20proz. Soda-lösung bestehende Desinfektions-Flüssigkeit. 2—5 proz. Soda-lösung ist zwar nicht bei gewöhnlicher Temperatur, wohl aber 60—80° C heiß

¹⁾ BURRI, Landw. Jahrbuch der Schweiz. Bd. 26, 1912, S. 475.

eines der wirksamsten und billigsten Desinfektionsmittel. Natronlauge wirkt noch intensiver. Im Gemisch mit 10% Natrium-Hypochlorit (Eau de Javelle) stellt 5—10 proz. Kalilauge das sog. Antiformin dar, ein ungemein stark schleim- und bakterienlösendes Mittel. Leider widerstehen indessen die Tuberkelbazillen nicht nur der Kalkmilch und der Natronlauge, sondern auch einer Antiformin-Behandlung so gut wie vollkommen. Man kann diese Lösung geradezu benutzen, um rasch zu Reinkulturen des Perlsucht-Erregers zu kommen. Dagegen wirkt heiße Sodalösung tödlich.

Von den Salzen gilt das Quecksilber-Chlorid (Sublimat) im allgemeinen als das stärkste Gift. 1% wird gewöhnlich als radikal keimvernichtend angesehen. Doch wird die Sublimat-Wirkung überall dort stark beeinträchtigt, wo das Gift mit Eiweiß in Berührung kommt. In solchen Fällen sinkt der „Gift-Wert“ in der Regel sehr, weil beide Substanzen eine unlösliche Doppel-Verbindung ergeben.

Recht giftig sind auch die Silbersalze. Ihr hoher Preis steht einer ausgedehnten Anwendung entgegen. Im bakteriologischen Laboratorium bedient man sich zweckmäßig eines Silber-Nitrat-Stiftes, um auf Gelatineplatten, die längere Zeit aufbewahrt werden sollen, die verflüssigenden Kolonien durch leichtes Betupfen rechtzeitig abzutöten. Ohne Anwendung dieser Maßregel können speziell die für Zählungen benötigten Platten fast nie so lange (8—10 Tage) in nicht verflüssigtem Zustande aufbewahrt werden, wie dies für die Erlangung möglichst richtiger Zahlen wünschenswert ist.

Kupfersulfat, das bekannteste Mittel zur Bekämpfung von allerhand Pflanzenkrankheiten, wird in Amerika in ziemlich ausgedehntem Maße benutzt, um in den der städtischen Wasser-Versorgung dienenden Reservoirs Algen und Bakterien zurückzudrängen. Ist das betreffende Wasser nicht zu reich an Kohlensäure, so erweist sich schon 1 Teil CuSO_4 auf 1 Million Teile Wasser als recht wirksam¹⁾. Mikrosol ist ein mit etwas Flußsäure versetztes Gemisch von schwefelsaurem und phenol-schwefelsaurem Kupfer. Es ist — in einer Konzentration von ca. 4% — zur Desinfektion von Wänden usw. bestimmt.

Ein sehr wirksames Desinfektionsmittel ist das Kalium-Permanaganat. Sogar die äußerst resistenten Milzbrandsporen werden durch eine 2 proz. Lösung in etwa $\frac{3}{4}$ Stunden abgetötet. Kalium-Bichromat kann (im Verhältnis 1:1000) ein sonst nicht einwandfreies Gebrauchswasser für Molkerei-Zwecke tauglich machen²⁾.

Auch Chlorkalk ist (in Mengen von 0,15 g pro Liter) zur Entkeimung des Wassers in Vorschlag gebracht worden. Das betreffende Wasser muß nötigenfalls geklärt und der verbleibende Überschuß an Chlor und unterchloriger Säure durch Zusatz von doppelt-schwefelsaurem

¹⁾ U. S. Department of Agriculture, Bureau of Plant Industry, Bull. 64, 76 und 100.

²⁾ A. R. WARD, Science [New Series], Vol. 13, 1901, p. 324.

Kalk unschädlich gemacht werden. Etwa verbleibendes Sulfit wird durch den Sauerstoff der Luft in 12—24 Stunden oxydiert¹⁾. In Amerika, wo die Chlorkalk-Behandlung des Wassers mehr Anklang gefunden hat als in Deutschland, hat man auch Lösungen, die 10 Teile freies Chlor auf 1 Million Teile Wasser enthielten, als zur Sterilisierung der Milchflaschen geeignet befunden²⁾. Selbstverständlich ist die Trockensterilisation besser, doch setzt sie das Vorhandensein besonderer, im anderen Falle entbehrlicher Einrichtungen voraus. In Flaschen, die vorher im Mittel 120000 Keime (pro Flasche) enthielten, waren nach 10 Minuten langem Liegen in der Flüssigkeit durchschnittlich nur noch je 45 lebende Bakterien nachweisbar. Zur Fäkalien- und Dünger-Desinfektion ist Chlorkalk ebenfalls recht brauchbar. Dagegen wird er bei der Raum-Desinfektion, für die er früher in erster Linie in Frage kam, jetzt besser durch Formaldehyd ersetzt.

Fluor-Ammonium hat sich in einer Konzentration von 0,4% zur Behandlung der Schlauchleitungen in Brauereien bewährt. Für Melkmaschinen-Schläuche, deren Sterilisation schon manche Schwierigkeit gemacht hat, scheint dieses Mittel noch nicht erprobt worden zu sein. Daß Chlor-Natrium, in Form von Kochsalz, nur konservierend, nicht sterilisierend wirkt, ist uns bekannt.

In Heringslake mit einem Salzgehalt von 24% sind Hefen und Mikrokokken in lebensfähigem Zustande gefunden worden³⁾. Auch 25% Salz enthaltende Bouillon zeigte nach Impfung mit Erde üppige Entwicklung verschiedener Arten von Bakterien⁴⁾. Kalisalpeter wurde sogar in noch höherer Konzentration (30%) vertragen.

Die Karbolsäure (Phenol) und die ihr nahestehenden Substanzen finden, trotzdem sie verhältnismäßig teuer und auch nicht sehr wirksam sind, zu Desinfektions-Zwecken vielfach Verwendung. Aus Kuhställen sowie aus Räumen, in denen Milch oder Speisen aufbewahrt werden, sollten sie aber schon wegen ihres unangenehmen Geruches grundsätzlich verbannt sein. Die Karbolsäure muß, wenn ihre Anwendung Erfolg haben soll, in ca. 40° C warmer 5 proz. Lösung benutzt werden. Auch die Kresole müssen in gleich hoher Konzentration angewandt werden; eine Beigabe von Schwefelsäure verstärkt ihre Wirkung⁵⁾. Kreolin und Kreosot sind in Wasser unlösliche und infolgedessen ebenfalls nicht gerade kräftig

¹⁾ M. TRAUBE, Zeitschrift für Hygiene, Bd. 16, 1894, S. 149; BASSENGE, ebenda, Bd. 20, 1894, S. 227.

²⁾ H. A. WHITTAKER and B. M. MOHLER, American Journal of Public Health, Vol. 2, 1912, p. 282.

³⁾ WEHMER, Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 3, 1897, S. 209.

⁴⁾ F. LEWANDOWSKY, Archiv f. Hygiene, Bd. 49, 1904, S. 47.

⁵⁾ Mit Schwefelsäure versetzte Rohkresole wurden erst unter der Bezeichnung „Sanatol“, später als „Automors“ zu unverhältnismäßig hohen Preisen in den Handel gebracht.

desinfizierend wirkende Teerprodukte. Entschieden besser sind im allgemeinen die durch Seifenzusatz wasserlöslich gemachten Präparate. Namentlich gilt dies für das Lysol, das in 3 proz. Lösung Tuberkelbazillen ziemlich rasch und sicher tötet, sowie für das Antinonin (Dinitro-Kresolkalium + Seife + Glyzerin), das besonders zur Desinfektion von Stein- und Holzwänden geeignet ist. Für den zuletzt genannten Zweck kommen jetzt auch recht brauchbare Karbolineum-Sorten im Handel vor. Übrigens kann auch der allerdings ebenfalls nur mäßig desinfizierende Teer selbst (in Ställen) als Anstrich der unteren Wandteile gute Dienste leisten.

Weit größer als bei dem Phenol, den Kresolen usw. ist der sterilisierende Effekt bei den Halogen-Naphtholen, die indessen bisher nur wenig Beachtung gefunden haben¹⁾. Dagegen ist das den Kresolen nahestehende Thymol, das häufig im Laboratorium als angeblich keimtötendes Mittel Verwendung findet, wenigstens gegenüber manchen Bakterien so gut wie ganz unwirksam²⁾.

Benzoësäure und Salizylsäure sind relativ unschädliche, aber doch (etwa im Verhältnis 3 : 1000) ziemlich gut wirkende Konservierungsmittel, die der Hausfrau bei der Konserven-Bereitung eventuell nützliche Dienste leisten können.

Sehr große Bedeutung haben für Desinfektionszwecke der Formaldehyd und eine ganze Reihe formaldehyd-haltiger Präparate. Die unter der Bezeichnung Formalin im Handel befindliche 40 proz. Formaldehyd-Lösung wirkt kräftiger als Karbolsäure. Eine 1/2—1 proz. Formaldehyd-Lösung kann zur Desinfektion von Molkerei-Gerätschaften, Melkmaschinen-Schlüuchen usw. Verwendung finden. Die Formaldehyd-Seifen: Formulsin, Festoform, Lysoform, Morbizid u. a. werden ebenfalls für Molkerei-Zwecke, Euter-, Stall-Desinfektionen usw. in 2—5 proz. Lösung gebraucht. Zur Raumdesinfektion rechnet man pro cbm Raum 5 g Formaldehyd, wenn die Desinfektion bei 15—20° C in 3 1/2 Stunden, 2 1/2 g, wenn sie bei der gleichen Temperatur in 7 Stunden beendet sein soll. Je 5 g Formaldehyd können dann durch je 3 g Ammoniak (zu Hexamethylen-Tetramin) gebunden und damit ihrer schleimhaut-reizenden Wirkung entkleidet werden. Damit die Raumdesinfektion erfolgreich ist, muß stets für gleichzeitige ausreichende Wasser-Verdampfung (20—30 g pro cbm) Sorge getragen werden. Neben der älteren Methode der direkten Verdampfung des Formaldehyds mittels besonderer Vorrichtungen haben sich verschiedene andere Verfahren eingebürgert, bei denen die Formaldehyd-haltigen Präparate (meist polymerisierter Formaldehyd, Paraform) mit Metallsuperoxyden (sog. Autan-Verfahren) oder mit gebranntem

¹⁾ H. BECHHOLD, Zeitschrift f. Hygiene, Bd. 64, 1909, S. 113.

²⁾ E. W. SCHMIDT, Zeitschr. f. physiolog. Chemie, Bd. 67, 1910, S. 412 (*Bact. fluorescens* und *Proteus* wachsen in Thymol-gesättigten Substraten).

Kalk oder mit Kaliumpermanganat unter Wasserzusatz vermischt werden¹⁾). Die Reaktionswärme bewirkt hier die Verdampfung.

Eine eingehende Prüfung der drei zuletzt genannten Verfahren mit Rücksicht auf ihre Brauchbarkeit für Molkereizwecke ist von LAXA durchgeführt worden²⁾). Am meisten bewährte sich das Formalin-Permanganat-Verfahren. Noch besser als die hier angewandte Vermischung von Formalin und Permanganat ist indessen die Verwendung von Paraform (pro cbm Raum 10 g) + kristallisiert. Kaliumpermanganat (25 g) + Natriumkarbonat (0,05 g) + Wasser (25 ccm), wie sie von LOCKEMANN und CRONER in Vorschlag gebracht wurde³⁾.

Ein sehr wirksames Desinfektionsmittel ist auch der absolute Alkohol. Man liest zwar noch vielfach, daß 70proz. Alkohol dem absoluten weit überlegen sei. Diese Annahme gründet sich indessen auf nicht einwandfrei angelegte Versuche. Tatsächlich ist der konzentrierte Alkohol (Brennspiritus) als Desinfektionsmittel für die Haut, speziell für die Hände allen anderen Substanzen entschieden überlegen⁴⁾. Seine sterilisierende und härtende Kraft kann bei kleinen oberflächlichen Eiterungen die Abheilung außerordentlich befördern. Namentlich hat sich Spiritus auch bei der Bekämpfung der Maul- und Klauenseuche recht gut bewährt. Wegen der Empfindlichkeit der Haut muß er allerdings in diesem Falle in verdünntem Zustande (40—50%) zur Anwendung gelangen.

Äther und Chloroform wirken auch in hoher Konzentration verhältnismäßig schwach. Im Laboratorium werden sie oft benutzt, um Bakterien- und Enzym-Wirkung getrennt zu studieren. Dabei ist aber wohl zu beachten, daß namentlich in Milch auch sehr hohe Gaben nicht sicher keimtötend wirken⁵⁾.

Sehr gut ist auch das Wasserstoffsuperoxyd. In 1—3proz. Lösung wirkt es ungefähr wie 5proz. Karbolsäure, ohne deren unangenehme Nebenwirkungen zu zeigen. Durch Zusatz von etwas Säure (z. B. 1% Essigsäure) kann man auch noch verdünntere Lösungen haltbar und hervorragend wirksam machen⁶⁾. Pergenol (d. i. Natriumperborat + Natriumditartrat) und Hyperol (d. i. $\text{CO}(\text{NH}_2)\text{H}_2\text{O}_2$) sind Präparate, die auf Wasserzusatz H_2O_2 liefern. Hyperol verdient den Vorzug. Perhydrol ist sehr reines, gut haltbares 30proz. Wasserstoffsuperoxyd. In verdünntem Zustande liefert es ein sehr empfehlenswertes — wenn auch nicht gerade angenehm schmeckendes — Mundwasser.

¹⁾ Eine gute Übersicht über allerhand hierher gehörige wissenschaftliche Einzelheiten findet sich in der kleinen Schrift von M. CHRISTIAN, Desinfektion, 1911, auf die auch zur weiteren Orientierung in Desinfektionsfragen verwiesen sei.

²⁾ Revue générale du lait. T. 9, 1911, p. 8.

³⁾ Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Ref. Bd. 46, 1910, p. 681.

⁴⁾ SCHUMBURG, Deutsche medizin. Wochenschrift, Bd. 38, 1912, S. 403.

⁵⁾ Vgl. die speziellen Angaben in meinem „Handbuch der landw. Bakteriologie“, 1910, S. 181, Anm. 1.

⁶⁾ CRONER, Zeitschrift für Hygiene, Bd. 63, 1909, S. 319.

Wiederholt hat man versucht, Wasserstoffsuperoxyd der Milchkonservierung nutzbar zu machen. Da es rasch den desinfizierend wirkenden Sauerstoff abgibt und dann nur ein wenig harmloses Wasser zurückbleibt, hätten wir in ihm allerdings ein geradezu ideales Sterilisationsmittel. Leider stehen auch hier verschiedene „Wenn und Aber“ störend im Wege. Der Name des Dänen C. C. L. BUDDE ist besonders eng mit dieser Art der Milchbehandlung, dem „Buddisieren“ verknüpft. Das sog. Perhydrase-Verfahren gehört ebenfalls hierher. Wie gesagt, hat sich keine dieser Methoden bewährt. In den letzten Jahren war von dieser Verwendung des Wasserstoffsuperoxyds fast nichts mehr zu hören¹⁾.

Schließlich habe ich noch des Ozons zu gedenken, das besonders für die Trinkwasser-Sterilisation von sehr großer Bedeutung ist. In einer ganzen Reihe von Städten ist die Ozonisierung des Trinkwassers z. T. seit Jahren in Gebrauch, z. B. in Wiesbaden, Paris, Nizza, Florenz und Petersburg. Neuerdings gibt es auch kleine, für die Wassersterilisation im Haushalt bestimmte Konstruktionen, speziell für landwirtschaftliche Betriebe können diese, sofern elektrische Kraft zur Verfügung steht, recht am Platze sein. Die Kosten sind sehr gering (meist 1—1½ Pfennig pro cbm).

Auch die Milch hat man wiederholt mittels Ozon zu sterilisieren versucht; leider ohne befriedigenden Erfolg.

Kombinierte Methoden. Ich habe mehrfach erwähnt, daß der durch chemische Desinfektionsmittel bewirkte Effekt gesteigert wird durch Reaktionsänderungen (Zusatz von Säure bzw. von Alkali) oder — und das ist praktisch besonders wichtig — durch Erhöhung der Temperatur. Es ist klar, daß durch geeignete Kombination physikalischer und chemischer Methoden oft günstigere Resultate erzielt werden können, als durch Anwendung einer Maßnahme allein. So macht man sich beim Einsalzen und Pökeln sowohl die hemmende Wirkung des Wasser-Entzugs wie das direkt desinfizierende Verhalten des Salzes und event. des hinzugegebenen Salpeters zu nutze. Beim Räuchern tritt zu der austrocknenden die vornehmlich dem im Rauch enthaltenen Formaldehyd zuzuschreibende chemische Wirkung. Sodalösung wirkt in der Kälte sehr wenig, dagegen ist, wie ich hervorhob, die heiße Waschlauge eines der besten und billigsten Desinfektionsmittel. In Kleidern, Betten usw. können zwar etwa vorhandene Krankheitserreger ohne Nachteil für die Sachen selbst in den mit strömendem Dampf arbeitenden Desinfektions-Apparaten abgetötet werden. Dagegen ist dieses Verfahren für Bücher, Pelze, Leder, Stiefel usw. nicht anwendbar. Hier bietet der Zusatz von Formalin oder von Alkohol zu dem unter verminderterem Druck (bei etwa 50—60° C) zum Sieden gebrachten Wasser einen gangbaren Ausweg dar.

¹⁾ Ausführliche Mitteilungen über die bereits seit 1880 im Flusse befindliche An-gelegenheit finden sich auf Seite 276—279 meines Handbuchs.

Zweckmäßige Anwendung der verschiedenen Verfahren. Mit Rücksicht auf die große Zahl von physikalischen und chemischen Desinfektionsmitteln, — von denen ich übrigens hier nur einen relativ kleinen, aber jedenfalls den wichtigsten Teil vorgeführt habe — scheinen mir einige Vorschläge für die praktische Anwendung der verschiedenen Verfahren am Platze zu sein.

Im allgemeinen muß man sich stets vor Augen halten, daß eine Abtötung der Mikroben ohne eine gleichzeitige nachteilige Veränderung des Substrates nur sehr selten möglich ist. Der Satz „Was wirkt, schadet auch“ gilt leider für die meisten Fälle. Namentlich ist kein Mittel bekannt, das, ohne die ursprünglichen Eigenschaften der Milch in mehr oder minder nachteiliger Weise zu verändern, eine sichere Sterilisierung dieses wichtigen Nahrungsmittels ermöglicht.

Für die Sterilisation der Körperoberfläche haben wir im Alkohol (Spiritus) das empfehlenswerteste Mittel kennen gelernt. Für die empfindlicheren Schleimhäute des Mundes usw. kommen hinreichend verdünnte reine Wasserstoffsuperoxyd-Lösungen in erster Linie in Betracht. Eine beim Auftreten mancher Milchfehler angezeigte Innen-Desinfektion des Euters kann mit (38° C) warmer 4-proz. Borsäure-Lösung durchgeführt werden. Die verschiedenen zur Munddesinfektion empfohlenen Präparate (Formamint, Stoman usw.) enthalten Formaldehyd als wirksamen Bestandteil. Desgleichen können Lysoform, Festoform usw. bei einer eventuell wünschenswerten Außen-Desinfektion des Euters gute Dienste leisten.

Für die Raum-Desinfektion sind das früher übliche Ausschwefeln sowie die Behandlung mit dem aus Chlorkalk in Freiheit gesetzten Chlor jetzt mit Recht fast vollständig durch die verschiedenen Methoden der Formaldehyd-Verwendung verdrängt worden. Das Wissenswerteste habe ich bereits mitgeteilt, will aber nicht unterlassen, auch hier nochmals darauf hinzuweisen, daß die Temperatur der Räume ebenfalls beachtet werden muß. In kalten Kellern z. B. muß die Stärke der Formaldehyd-Gabe wesentlich höher bemessen werden.

Für die Desinfektion der Wände sind zahlreiche sogen. desinfizierende Wandfarben in den Handel gebracht worden. In Wirklichkeit ist deren desinfizierende Wirkung nur schwach und wenig andauernd. Recht brauchbar sind allerdings z. B. die hierher gehörigen Porzellan-Emaillefärbungen deshalb, weil sie allen Desinfektionsmitteln ausgezeichnet Stand halten. In Molkerei-Räumen können sie sehr zweckmäßig Verwendung finden. Dagegen stehen uns für den Stall im Ätzkalk, dem eventuell noch 5% Lysoform oder eine ähnliche Substanz zugesetzt werden können, sowie im Teer gute und billige Wandfarben zur Verfügung.

Für die Desinfektion der Geräte und Gefäße ist neben der Reinigung mit heißer Soda-Lauge die Sterilisation im Trockenschrank entschieden am empfehlenswertesten. In zweiter Linie steht das Ausdämpfen, Behandlung mit verdünnter Formalin-Lösung und anderen chemischen Mitteln.

Bei der Konservierung der Nahrungsmittel sollten außer Salz, Milchsäure und Essigsäure am besten alle chemischen Zusätze ausgeschlossen sein. Die Abtötung der Keime durch genügend intensive Erhitzung ist für diese Fälle immer noch die relativ beste Methode. Das gilt namentlich auch für die Milch.

Für die Sterilisation des Wassers ist neben dem einfachen Abkochen die Behandlung mit Ozon oder mit ultravioletten Strahlen im Auge zu behalten. Dagegen sind die Filtrations-Methoden sämtlich nicht einwandfrei.

Eine etwa nötige Desinfektion des Stalldüngers kann entweder durch Selbst-Erhitzung oder durch Zusatz billiger, aber kräftig wirkender Substanzen, wie Schwefelsäure, Ätzkalk, Chlorkalk u. dgl. erzielt werden.

Schließlich sehen wir uns mitunter auch vor die Aufgabe gestellt, allerhand größere und kleinere schädliche Organismen im Boden abzutöten. Auch hier kann sowohl das Einleiten von Dampf wie die Einführung chemischer Desinfizientia zum Ziele führen. Von diesen kommen in erster Linie flüchtige Stoffe, wie Schwefelkohlenstoff, Toluol, Formaldehyd usw. in Betracht. In der 25. Vorlesung werde ich über diese „Bodenreinigung“ noch einiges mitzuteilen haben.

9. Vorlesung.

Die Leistungen der Mikroorganismen. — Produktion von Farbe, von Licht und von Wärme.

Die Leistungen der Mikroorganismen. In der ersten Vorlesung wies ich bereits darauf hin, daß die Mikroorganismen für den fortlaufenden Ablauf des gesamten Lebensprozesses von erheblicher Bedeutung sind. Des Landwirts Aufgabe ist es, den ständig sich vollziehenden Kreislauf des Stoffes so zu gestalten und zu regeln, daß er für die Deckung der menschlichen Lebensbedürfnisse möglichst weitgehend ausgenutzt werden kann. Die Mitwirkung der Mikroorganismen ist hierbei schlechthin unentbehrlich und deshalb eine möglichst eingehende Kenntnis ihrer Leistungen zweifellos von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit. Dank der destruktiven Tätigkeit von Bakterien und Pilzen werden die dem Lebensprozeß der höheren Organismen entstammenden Rückstände und Reste meist in kürzester Zeit in ihren ursprünglichen anorganischen Zustand zurückgeführt. Mit vollem Rechte hat man die Mikroben bezeichnet als die „Vermittler zwischen Tod und Leben“ (der höheren Organismen). Die als Krankheitserreger funktionierenden Bakterien machen sich im „Kampf um den Stoff“ gewissermaßen einer Grenzverletzung schuldig. Sie beschleunigen den Tod des höheren Organismus und führen so die in ihm enthaltenen Substanzen rascher dem völligen Abbau zu.

Alle die zahllosen Umsetzungs- und Zersetzung-Erscheinungen dienen den Mikroorganismen zur Erhaltung ihres Lebens. Stets handelt es sich sowohl um Stoff-Umsatz wie um Stoff-Ansatz. Besonders dann, wenn gleichzeitig eine üppige Vermehrung der Mikroben Platz greift, werden oft recht ansehnliche Quantitäten organischer und anorganischer Substanzen in Form von Körpermasse deponiert. Für die Bewegung, für Wärmeproduktion und in anderen Richtungen macht sich bald ein größerer, bald ein geringerer Energie-Verbrauch nötig. Kurz, die Leistungen der Mikroorganismen verlaufen nicht glatt nach Art chemischer Reaktionen. Alle die zahllosen Zufälligkeiten, die sich im Leben allenthalben geltend machen, üben auch hier bald mehr, bald

weniger deutlich ihren Einfluß aus. Es resultieren allerhand Abweichungen und Unklarheiten. Auch der Bakterien Leben und Tätigkeit ist „voller Widerspruch“. Und es ist unter diesem Gesichtspunkt recht wohl verständlich, daß und weshalb man hier und da in Kreisen, denen eine biologische Betrachtung der Tatsachen ferner liegt, auch heute noch ab und zu auf eine nicht selten scharf hervortretende Abneigung gegen alle derartigen Fragen trifft. Die kausale Bedeutung der Mikroben-Tätigkeit wird (wie zu Liebigs Zeiten) auch heute noch zu oft verkannt.

Es ist indessen schlechthin unmöglich, zu einem vollen Verständnis jener mannigfaltigen, andauernd in der Natur von statthen gehenden Umsetzungsprozesse zu gelangen, wenn wir nicht berücksichtigen, daß es sich fast überall um die Betätigung von lebenden Wesen handelt. Die am Aufbau und an der Umwandlung der organischen Substanzen beteiligten Pflanzen und Tiere sind für jedermanns Auge sichtbar. Daß ihrem Eingreifen das Zustandekommen jener Prozesse zu verdanken ist, wurde von jeher anerkannt. Die Mikroorganismen entziehen sich zwar in den meisten Fällen dem Blick des oberflächlichen Beobachters. Im übrigen gestalten sich aber die Verhältnisse beim Abbau-Prozeß ganz analog denjenigen beim Aufbau des Stoffes. Jener ablehnende Standpunkt ist heute zweifellos nicht mehr berechtigt. In dem Maße, wie man darin fortschreiten wird, diese vorläufig z. T. nur wenig erhellt Gebiete einer methodischen, gründlichen Bearbeitung zu unterziehen, in demselben Umfange werden auch jene Unklarheiten und Unsicherheiten schwinden, mit denen wir gegenwärtig leider noch vielfach zu rechnen haben.

Wie es kommt, daß die Mikroorganismen imstande sind, eine oft so überaus vielseitige und nicht selten so ungemein lebhafte Tätigkeit zu entwickeln, folgt ohne weiteres aus unseren bisherigen Betrachtungen. Ihre winzige Größe, ihr einfacher Bau und eine erstaunliche Vermehrungsfähigkeit begünstigen den Stoffwechsel in hervorragendem Maße. Eine oder ein paar Bakterien sind zunächst ohne jede für uns erkennbare Bedeutung. Sind aber die Bedingungen für ihr Wirken gegeben, dann wächst ihre Zahl in kürzester Zeit so rapide an, wie sonst bei keiner anderen Klasse von Lebewesen. Und die Leistungen dieser „über Nacht“ entstandenen Millionen und Milliarden von Organismen sind dann in der Tat ganz überraschend groß. H. W. CONN hat die Bakterien in hübscher und treffender Weise mit Schneeflocken verglichen¹⁾. Einzeln fast unwägbar leicht und äußerst vergänglich, setzen sie in großen Massen auch den stärksten Maschinen einen unüberwind-

¹⁾ Agricultural Bacteriology (1. edition) p. 34.

lichen Gegenstand entgegen; als Lawinen töten sie die Menschen und zerstören deren Niederlassungen. Große Seuchengänge fordern ungeheure Opfer. Wärme produzierende Mikroben können — wie ich bald näher zu schildern haben werde — Haus und Hof zerstörende Brände verschulden. Stickstoff entbindende Bakterien geben Jahr für Jahr die Veranlassung zu Verlusten, die sich auf Hunderte von Millionen beziffern. — Glücklicherweise sind jedoch die nützlichen Leistungen der Mikroorganismen noch weit höher zu bewerten als die uns von ihnen zufügten Schäden.

Neben den schon genannten Eigenschaften besitzen nun aber die Bakterien, wie wir wissen, noch manche andere Besonderheiten, die sie in den Stand setzen, nahezu überall auf unserem Planeten zugegen zu sein und, sobald es an der einen oder der anderen Stelle etwas für sie zu tun gibt, mit größter Energie ihr Werk in Angriff zu nehmen und zu vollenden. Bei reichlichster Luftzufuhr leben sie und bei vollkommenem Luftabschluß, bei hoher wie bei niedriger Temperatur; und die allerverschiedensten Substanzen machen sie sich nutzbar für Ernährung und Atmung. Oft aktiv beweglich, können sie selbsttätig den für sie geeigneten Platz aufsuchen. Unempfindlich gegen das Austrocknen, werden sie mit dem Staub weithin verweht. Im Sporenzustande halten sie Jahre und Jahrzehnte hindurch allen Unbilden stand. Und auch unter noch so wechselnden Existenzbedingungen sichert eine weitgehende Anpassungsfähigkeit die Kontinuität von Leben und Wirken der Mikroben.

Die Abhängigkeit aller Leistungen von den obwaltenden Umständen dürfen wir nie aus dem Auge verlieren. Das schon früher benutzte Beispiel der Aussaat des Getreidekornes auf der harten Straße demonstriert den Sachverhalt wohl am deutlichsten. Aber so klar und einfach diese Dinge, von hier aus betrachtet, auch erscheinen mögen, so wurden und werden sie trotzdem nur allzu oft verkannt oder völlig übersehen. Am häufigsten war und ist dies der Fall in bezug auf die krankheitserregende Funktion der Mikroben. Ich werde deshalb in der 14. Vorlesung spezieller darauf eingehen müssen. Aber auch in anderen Richtungen haben solche einseitige und infolgedessen unzutreffende Ansichten zu sehr erheblichen und folgenschweren Irrtümern geführt. Die Über- oder Unterschätzung bakteriologischer Fragen, die uns so häufig entgegentritt, hat vornehmlich hierin ihren Grund. Dem einen sind die Bakterien, dem andern die äußeren Umstände alles; in Wirklichkeit ist aber das eine so unentbehrlich wie das andere und deshalb gleich wichtig.

Ich habe schon früher darauf hingewiesen, daß es an der notwendigen Rücksichtnahme auf den bestimmenden Einfluß, den die

natürlichen Existenzbedingungen ausüben, auch bei dem Arbeiten im Laboratorium nie fehlen darf. Die oft sehr große Anpassungsfähigkeit der Mikroben kann leicht zur Entstehung von „Laboratoriums-Rassen“ Veranlassung geben, deren Verhalten eventuell zu erheblichen Fehlschlüssen verleiten könnte. Dem eindringenden Studium der Bedingungen, unter denen die Mikroorganismen an den verschiedenen Stellen im landwirtschaftlichen Betriebe tätig sind, wird in Zukunft umso mehr Aufmerksamkeit zu widmen sein, je vollständiger wir uns zunächst über die Gruppen und Arten der landwirtschaftlich wichtigen Mikroorganismen orientiert haben werden.

Von besonderer Wichtigkeit sind in diesem Zusammenhange zwei, ebenfalls schon früher (S. 77 und 90) berührte Punkte: erstens das Auftreten von Standorts-Varietäten und zweitens der vielfach modifizierende Einfluß von Symbiose und Antagonismus. Besonders so weit es sich um die Leistungen der in Milch und Molkereiprodukten tätigen Mikroben handelt, ist das Auftreten von Standorts-Varietäten von nicht geringer Bedeutung. Sowohl sehr günstige wie sehr ungünstige Ergebnisse können diesem Umstand zuzuschreiben sein. Symbiotische Vorgänge sind es in der Regel, die beschleunigend auf die Gerinnung der Milch einwirken. Oft fördern Sproß- und Spaltpilze einander sehr wesentlich; die Kefirkörner sind ein besonders instruktives Beispiel einer solchen Symbiose. Für die Käsereifung gilt ähnliches. Die antagonistische Wirkung der Säurebildner hält viele Schädlinge im milchwirtschaftlichen Betriebe erfolgreich im Zaum. Bei der „Selbstreinigung“ des Wassers, ebenso wie im Dünger und im Boden sind antagonistische Prozesse oft von ausschlaggebender Bedeutung. Im weiteren Verlauf unserer Darlegungen werde ich noch manche bemerkenswerte Einzelheit in dieser Richtung anzuführen haben.

Die Änderungen in der Leistungsfähigkeit können naturgemäß wie bei den höheren Organismen in dem einen Falle relativ rasch, im anderen langsam von statthen gehen. Mitunter zeigt sich auch wohl eine überraschend große Konstanz aller Eigenschaften. Besonders die Befähigung zur Produktion von Säure, von Gasen oder von Schleim kann verhältnismäßig leicht verloren oder neu gewonnen werden. Aber auch die Ammoniakbildung, die Entbindung und die Bindung von elementarem Stickstoff variieren oft sehr. Gerade gegenwärtig wird sehr viel darüber geschrieben, ob es sich bei diesen Änderungen mehr um durch äußere Umstände veranlaßte „Modifikationen“ oder um aus inneren Ursachen herrührende, sprunghaft auftretende „Mutationen“ handelt. Doch erscheint es für unsere Zwecke nicht geboten, länger bei diesen, oft nur schwierig zu entscheidenden Fragen zu verweilen¹⁾.

¹⁾ Eine gute Zusammenstellung der „Veränderlichkeit der Kleinwesen“ bringt das 18. Kapitel von KRUSES Allgem. Mikrobiologie. Vgl. eventuell auch: H. PRINGSHEIM, Die Variabilität niederer Organismen, 1910.

Von den verschiedenartigen Leistungen der Mikroben sind — vom landwirtschaftlichen Standpunkte aus gesehen — die zahlreichen Wandlungen der stickstoffhaltigen und stickstofffreien Substanzen zweifellos von weitaus überragender Bedeutung. Inwiefern sie bei der Käsereifung, bei der Düngerrotte, im Boden und andernortes im landwirtschaftlichen Betriebe von Wichtigkeit sind, wird späterhin des näheren zu zeigen sein. Zunächst aber möchte ich diese mannigfachen Umsetzungen und Zersetzung im einzelnen einer kurzen Betrachtung unterziehen. Wenn auch in der Natur nie Reinkulturen in Tätigkeit treten, so kann doch nur die Bekanntschaft mit ihnen und ihren Leistungen uns diejenige sichere Grundlage schaffen, die wir notwendig haben müssen. Wir würden andernfalls nie zu einem klaren Überblick über die oft so komplizierten und einander widersprechenden Erscheinungen gelangen, wie sie uns im natürlichen Verlauf der Dinge täglich entgegen treten.

Neben den chemischen sind auch gewisse physikalische Leistungen von Interesse; die Produktion von Farbe, von Licht und von Wärme werden wir sogleich, soweit als nötig, ins Auge fassen. Und wenn auch jene abnormen Stoff-Umwandlungen, die wir als Krankheiten der höheren Organismen zu bezeichnen gewohnt sind, aus früher dargelegten Gründen, nicht zum Forschungsgebiet der landwirtschaftlichen Bakteriologie gerechnet werden können, so mögen doch auch sie, ihrer allgemeinen Bedeutung wegen, in der 14. Vorlesung in möglichster Kürze erörtert werden. Spezielle Ausführungen in dieser Hinsicht müssen dagegen den human- und veterinär-medizinischen Vorlesungen und Lehrbüchern vorbehalten bleiben.

Produktion von Farbe. Zahlreiche Mikroorganismen zeigen keine oder eine nur unwesentliche Pigmentierung. Namentlich erscheinen die Kulturen vieler Bakterien ebenso wie die Bakterien-Ansammlungen auf der Außenseite junger Käse als weißliche oder graue, teils trockene, teils schleimige Auflagen, die dem unbewaffneten Auge nichts Auffälliges darbieten (Taf. V, Fig. 1: *Bact. coli*). Mit den Sproßpilzen verhält es sich ähnlich. Das Ausschen der in den Bäckereien benutzten „Preßhefe“ mag als Beispiel dienen. Auch manche Biere sind reich an weißgrau erscheinenden Hefen. Und daß die Schimmelpilze gleichfalls, wenigstens im jugendlichen Zustande, vor Eintritt der Sporenbildung, in der Regel als weiße, fädige oder flockige Massen sichtbar werden, ist eine ebenso allgemein bekannte Tatsache.

Werden Farbstoffe produziert, so bleibt das Pigment entweder, und zwar meist, in der Zelle eingeschlossen, der Bakterien- oder Pilzbelag selbst erscheint gefärbt; oder aber der Farbstoff wird nach

außen hin abgesondert und verteilt sich im Substrat (vgl. das entsprechende Verhalten der verschiedenen Kolonien in der auf Taf. III abgebildeten PETRI-Schale). Andererseits sind manche Schimmelpilze befähigt, lösliche Farbstoffe aus dem Medium, in dem sie wachsen, aufzunehmen und in ihrem Zell-Leib aufzuspeichern. Sie schmücken sich mit fremden Farben.

Diese erst neuerdings etwas genauer studierte Tatsache erklärt nicht nur das Auftreten sehr verschiedenartig gefärbter Rassen ein und desselben Schimmelpilzes¹⁾. Sie macht es auch verständlich, weshalb man lange Zeit hindurch speziell für das Auftreten blauer Flecke auf der Milch gerade den Milchschimmel oder andere Schimmelpilze verantwortlich gemacht hat²⁾.

Gelbe Färbungen der Bakterien-Zellen sind ziemlich häufig. Alle Abstufungen vom zartesten Hellgelb bis zum dunklen, leuchtenden Orange kommen vor (Taf. III und VI). Ebenso trifft man nicht gerade selten auf rosa, rote bis purpurfarbige Tönungen. Das *Bacterium prodigiosum* sowie eine Rosa-Hefe haben wir bereits kennen gelernt (Taf. III und V). Auch manche Schimmelpilze produzieren sehr intensive, z. T. in das Substrat übergehende purpurne Pigmente. Die auf Weichkäsen oft sichtbaren roten bis rothrauen Ansammlungen können sowohl durch Bakterien wie durch Pilze hervorgerufen sein. Besonders farbenprächtig erscheinen gut entwickelte Kulturen des „Bakterium der roten Milch“ (*Bact. erythrogenes*). Die Zellen sind lebhaft gelb gefärbt, das Substrat leuchtend rot (Taf. VI).

Ein wasserlösliches, besonders im auffallenden Licht grün bis blaugrün erscheinendes Pigment produziert das *Bact. fluorescens* sowie das ihm sehr nahestehende *Bact. pyocyanum* (Taf. III und VI). Die zuletzt genannte Art ist manchmal für Eiterungsprozesse im Euter verantwortlich zu machen. Dagegen ist das *Bacterium fluorescens* einer der häufigsten Fettzersetzer und Ammoniakbildner. Wir werden den Spuren seiner Tätigkeit noch oft begegnen. Allerhand gelblichgrüne, graugrüne und blaugraue Färbungen sind an Schimmelpilzsporen wahrnehmbar, desgleichen braune bis schwarze Pigmente. Alter Weichkäse, verschimmeltes Brot, Obst usw. zeigen häufig alle möglichen, auf Pilzwachstum zurückzuführenden Verfärbungen (s. auch das auf Taf. VIII abgebildete, mit Zellulose zersetzenen Schimmelpilzen bedeckte Papier).

Bei den Bakterien fehlt es ebenfalls nicht an solchen Arten, die entweder selbst braun oder schwarz gefärbt erscheinen oder die dem Substrat eine solche Farbe verleihen. Besonders im Dünger sind der-

¹⁾ MARZINOWSKY, Zeitschrift für Hygiene, Bd. 73, 1912, S. 191.

²⁾ Vgl. die auf S. 10 zitierte Ansicht THAERS sowie weitere ähnliche Angaben einiger Autoren aus der Mitte des 19. Jahrhunderts, die ich auf S. 285 meines Handbuchs der landw. Bakteriologie zusammenstellte.



1. Verfärbte Milch.

Bacterium erythrogenes. Micrococcus aurantiacus. Bacterium fluorescens. Bacterium syncyaneum. Schwarzbraune Var. d. B. fluorescens.



**2. Seefisch mit Leuchtbakterien,
im eigenen Lichte photographiert.**

$\frac{1}{2}$ nat. Grösse.



Mnol

artige Keime nicht selten. Meist handelt es sich um Varietäten des *Bacterium fluorescens* (Taf. VI), seltener um solche des „Kartoffelbazillus“ (*Bacillus mesentericus*). Auch eine sehr wichtige Stickstoff bindende Art, das *Azotobacter chroococcum* zeigt eine — allerdings nicht immer eintretende — schwarzbraune Pigmentierung (Taf. VIII). Braune und schwarze Hefenarten wurden gleichfalls aufgefunden. Der im Boden recht häufige, wahrscheinlich an der Humusbildung beteiligte *Actinomyces chromogenes* scheidet einen wasserlöslichen, schwarzbraunen Farbstoff ab, der die Kolonien dieser Art auf Gelatineplatten sehr auffällig hervortreten läßt (Taf. III, 1, rechts oben).

Schließlich fehlt es auch nicht an blau oder violett gefärbten Bakterien und Pilzen. Am bekanntesten ist wohl das „Bakterium der blauen Milch“ (*Bacterium syncyaneum* oder *Bacillus cyanogenes*). Nicht nur bei dieser, auch bei den meisten anderen pigmentbildenden Arten tritt die Färbung bei der Kultur in Milch besonders deutlich hervor (Taf. VIII). Eine Ausnahme von dieser Regel macht das *Bact. prodigiosum*, das Milch nur in der Rahmschicht blaß-rosa färbt (Taf. V, Nr. 2). Die besonders in milchwirtschaftlichen Lehrbüchern immer wiederkehrende Angabe, daß diese Art für das Rotwerden der Milch verantwortlich zu machen sei, ist also nicht ganz zutreffend. Das *Bacterium syncyaneum* liefert übrigens nur dann eine intensiv himmelblaue bis stahlblaue Verfärbung der Milch, wenn diese sauer ist. Andernfalls ist die Farbe mehr grau als blau, sie kann unter Umständen auch in schwarzbraun übergehen.

In früheren Zeiten haben die farbstoffbildenden Mikroben in den milchwirtschaftlichen Betrieben oft sehr großen Schaden angerichtet. Die erste eingehende Untersuchung über den Erreger der blauen Milch wurde 1838 in einer mecklenburgischen Wirtschaft durchgeführt, in der dieser „Milchfehler“ 11 Jahre hindurch dauernd aufgetreten war und zum Ruin des betreffenden Besitzers Veranlassung gegeben hatte. Gegenwärtig haben diese Erscheinungen infolge der geänderten Molkerei-Praxis und der genauen Kenntnis ihrer Ursachen wesentlich an Bedeutung verloren. Immerhin richten auch heute noch derartige abnorme Verfärbungen der Molkereiprodukte so manchen Schaden an.

Eine sehr große Rolle hat in früheren Jahrhunderten das *Bacterium prodigiosum*, der „Wundertäter“ gespielt¹⁾. Auf den in feuchten Kapellen aufbewahrten Hostien siedelten sich diese Bakterien mit Vorliebe an; sie veranlaßten das „Bluten“ der Hostien. Teils blieb dieses „Wunder“ ohne nachteilige Folgen; das Fronleichnamsfest soll seine Entstehung solchen Prodigiosus-Hostien zu verdanken haben. Teils wurden aber

¹⁾ Prodigium = das Wunderzeichen.

Juden und Hexen für das „Blutschwitzen“ der Hostien verantwortlich gemacht; mehr als 10000 Menschen sollen deshalb erschlagen oder verbrannt worden sein¹⁾.

Große Ansammlungen roter, sogen. Purpur-Bakterien werden in Wasser-Lachen, Gräben usw. zuweilen sichtbar. Meist sind diese Organismen an den Umsetzungen des Schwefels beteiligt. Landwirtschaftlich sind sie ohne Bedeutung.

Die Bedingungen für das Eintreten oder Ausbleiben der Pigmentierung sind oft studiert worden. Dabei hat sich z. B. herausgestellt, daß das *Bact. prodigiosum* bei Luftabschluß und bei hoher Temperatur keinen Farbstoff bildet. Auf saurem Substrat wird das Pigment purpur und von metallischem Glanz; auf alkalischen Nährböden tritt mehr ein gelbroter Ton hervor. Die Bildung des grünen Farbstoffes von *Bact. fluorescens* wird durch eine alkalische Reaktion begünstigt. Die blaue Farbe des *Bact. syncyaneum* setzt Anwesenheit von Säure voraus. Das rote Pigment des *Bact. erythrogenes* entsteht nur im Dunkeln. Andererseits wirkt das Licht bei manchen Schimmelpilzen als ein die Farbstoff-Bildung begünstigender Faktor.

Näher brauchen wir auf diese Fragen hier nicht einzugehen. Nur das sei noch hervorgehoben, daß auch unter den der Pigment-Bildung günstigen Bedingungen nicht selten farblose Rassen entstehen. Namentlich das *Bacterium syncyaneum* und das *Bact. prodigiosum* sind zu solcher Variation sehr geneigt. Selbstverständlich ist es nicht gerechtfertigt, derartige Abweichungen zur Aufstellung neuer Arten zu benutzen. Leider finden sich aber immer noch Autoren, denen selbst ganz unwesentliche Differenzen der Farbennuancen genügend erscheinen, um daraufhin neue Spezies-Namen zu erfinden. Es ist das ein Verfahren, das entschieden keine Nachahmung verdient.

Besonders unter den Mikrokokken ist das Variieren von weiß nach gelb bis orange recht häufig. Dagegen bilden die gelb gefärbten Kurzstäbchen, die sich um das *Bacterium fulvum* gruppieren, eine ziemlich gut umschriebene Gemeinschaft. Gelbe Varietäten des *Bact. coli* sind allerdings auch beobachtet worden. Die braunen Rassen des *Bact. putidum*, der die Gelatine nicht verflüssigenden Form von *Bact. fluorescens*, sind von der braunen Varietät des *Bact. syncyaneum* nicht zu unterscheiden. Offenbar existieren auch hier verwandtschaftliche Beziehungen. Ebenso sind die in sehr großer Zahl beschriebenen und besonders benannten roten Kurzstäbchen zweifellos zu einem sehr großen Teil als Prodigiosus-Varietäten anzufassen. Eine mitunter auch bei Luftabschluß wahrnehmbare Rotfärbung wird durch anaerobe Arten bedingt. Die oberflächliche Rötung der Weichkäse nach französischer Art wird übrigens z. T. durch Bakterien hervorgerufen, die auf den Standard-Nährböden weiß oder gelblich wachsen. Ebenso können an sich farblose Bakterien zum Auftreten dunkler Flecke in Hartkäsen Veranlassung geben.

¹⁾ H. JAEGER, Die Bakteriologie des täglichen Lebens, 1909, S. 74.

Erzeugung von Licht. Leuchtende Tiere und Pflanzen gibt es bekanntlich in großer Zahl. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß auch verschiedene Pilz- und Bakterienarten zu dieser Leistung befähigt sind. Das Leuchten weißfaulen Holzes ist auf die Anwesenheit Licht erzeugender Pilze, das Meeresleuchten wenigstens z. T. auf Leuchtbakterien zurückzuführen. Einige Zeit aufbewahrte Seefische werden fast regelmäßig leuchtend. Von ihnen aus gehen die lichterzeugenden Bakterien eventuell auf andere Speisen (Fleisch, Kartoffeln usw.) über. Der Besitzerin einer derart illuminierten Speisekammer können sie dann eine nicht geringe Überraschung bereiten. Das auf Tafel VI reproduzierte kolorierte Photogramm eines im eigenen Lichte aufgenommenen Fisches gibt — besonders wenn man es halb beschattet — eine ziemlich gute Vorstellung von der auffallenden Erscheinung, die einem da im völlig dunklen Raume entgegentreten kann. Natürlich konnte das milde Strahlen des Leuchtfisches nicht wiedergegeben werden (und ebenso fehlt sein kräftiger „Duft“, auf den man allerdings gern verzichten darf). Kleidet man Glaskolben mit einer aus Fischbouillon bereiteten Gelatine aus, die man vorher reichlich mit Leuchtbakterien impfte, so erhält man eine kleine, eventuell als Nachtlicht brauchbare Bakterienlampe. Leider ist die Leuchtkraft ziemlich gering und sie geht in den Kulturen meist rasch zurück.

Natürlich ist die Leuchtkraft von kräftig entwickelten Reinkulturen wesentlich höher als die eines mit Leuchtbakterien besetzten Fisches. Aufnahmen von Bakterienkulturen im eigenen Licht sowie von anderen Gegenständen im Bakterienlicht wurden namentlich von H. MOLISCH in größerer Zahl ausgeführt¹). Von ihm röhrt auch der Vorschlag her, Bakterienlampen — als absolut explosionssicher — in Bergwerken zu verwenden. Die geringe Leuchtkraft steht dem vor allem entgegen. Eine mit einem zusammenhängenden Belage von Leuchtbakterien bedeckte Fläche von der Größe eines Quadratmeters würde etwa $\frac{1}{1000}$ — $\frac{1}{100}$ Kerzenstärke gleichkommen²). Unser Fisch wurde 16 Stunden exponiert, von Überbelichtung ist aber jedenfalls nichts zu bemerken.

Die Ursachen der Lichtproduktion sind noch nicht völlig klar gestellt. Sicher handelt es sich um Oxydationsprozesse, bei denen gewisse organische Substanzen eine wichtige Rolle spielen. Sterile Humusaufschwemmungen, faules Holz usw. leuchten bei Zusatz von Wasserstoffsuperoxyd ebenfalls³).

Wärme-Produktion. Während das Bakterien-Licht von unserem Standpunkte aus nur als Kuriosität bewertet werden kann — die Leuchtkäfer spielen ja auch keine erhebliche Rolle in der Landwirtschaft! — muß dagegen der durch Mikroorganismen-Tätigkeit erzeugten Wärme zweifellos eine größere Bedeutung zuerkannt werden. Die Verbrennung

¹) MOLISCH, Leuchtende Pflanzen, 2. Aufl., 1912.

²) FRIEDBERGER und DOEPNER, Centralbl. f. Bakt., 1. Abt., Origin., Bd. 43, 1907, S. 1; A. LODE, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 22, 1909, S. 421.

³) WEITLANER, Verhandlungen der zoologisch-botan. Gesellschaft zu Wien, Bd. 61, 1911, S. 192.

irgend welcher Substanzen im Atmungsprozeß ist in jedem Falle (bei den höchsten wie bei den niederen Organismen) die Ursache der Temperatur-Erhöhung. Überall wo größere Mengen zersetzungsfähiger Stoffe zugegen sind und infolgedessen ein lebhaftes Bakterien- und Pilzwachstum einsetzt, kommt es zu einer mehr oder minder intensiven Wärmeproduktion.

Handelt es sich um sehr wasserreiche Materialien, wie Harn, Jauche, Milch usw., so hält sich naturgemäß die Temperatur-Steigerung innerhalb enger Grenzen. Meist beläuft sie sich auf $1-1\frac{1}{2}^{\circ}$ C. Namentlich bei der Rahmreifung hatte man schon seit längerer Zeit diesen Vorgang zwar wahrgenommen, aber man hatte zunächst keine Erklärung dafür finden können.

Vollkommen gelöst sind die hier vorliegenden Fragen übrigens auch heute noch nicht. Nach der chemischen Formel der Milchsäurebildung sollte nämlich nur etwa die Hälfte der tatsächlich beobachteten Wärme gebildet werden¹⁾.

Halbtrockene Stoffe, wie feuchtes Heu, Stalldünger usw. können, wie wir wissen, weit intensivere „Selbsterwärmung“ zeigen. Im Mistbeet sowie bei der Braunheu-Bereitung wird dieses Verhalten direkt nutzbar gemacht.

Ist der Wassergehalt noch etwas geringer, der Gehalt an leicht zersetzbaren Substanzen aber hoch, so kommt es zur ausgesprochenen „Selbst-Erhitzung“, die schließlich bis zur „Selbst-Entzündung“ fortschreiten kann. In großen Haufen fermentierenden Tabaks, vorzeitig eingebrachten Heues, sowie von Kleie, Torf und Kohle können diese Prozesse Platz greifen. Durch die ausbrechenden Brände sind mitunter schon sehr namhafte Schäden verursacht worden. Allein in Bayern bezifferten sich z. B. die durch Selbstentzündung des Heues veranlaßten Brandschäden innerhalb von 20 Jahren auf 2 Millionen Mark²⁾). Selbstverständlich hat gerade die „Selbstentzündung des Heues“ — wie gegenwärtig oft der „Kurzschluß“ in den elektrischen Leitungen — auch ab und zu als bequeme Ausrede herhalten müssen, wenn es sich in Wirklichkeit um fahrlässig oder absichtlich verschuldete Brände handelte. Aber wenn man auch „Wahrheit und Dichtung“ sorgfältig auseinander hält, so bleiben doch noch so zahlreiche sicher beglaubigte Fälle, daß diese Fragen unser volles Interesse verdienen.

Über Verlauf und Ursachen der Wärmesteigerung gewinnen wir, glaube ich, die beste Übersicht dann, wenn wir drei Phasen unterscheiden: 1. die bis auf etwa 45° C ansteigende Selbsterwärmung, 2. die

¹⁾ RUBNER, Archiv für Hygiene, Bd. 57, 1906, S. 244.

²⁾ v. RANKE, Vierteljahrsschrift des Bayr. Landwirtschafts-Rats, Bd. 2, 1897, Heft 2, ref. Zentralblatt f. Agrikultur-Chemie, Bd. 27, 1898, S. 53.

bis zu reichlich 70° C fortschreitende Selbsterhitzung und 3. den mit der Selbst-Entzündung endenden Teilprozeß.

In der ersten Phase der Selbst-Erwärmung steigt die Temperatur bis auf etwa 45° C. Sofern in den angehäuften organischen Massen die sie bildenden Zellen noch (wenigstens zum Teil) am Leben sind, ist die bei ihrer Atmungstätigkeit entstehende Wärme zunächst in Betracht zu ziehen. Das gilt z. B. für Grünfutter, Laub, Getreideschrot, Kleie, Heu und Tabak. Sind die Zellen bereits tot, so können gleichwohl in ihnen enthaltene Enzyme noch an der Temperatur-Erhöhung partizipieren. Außerdem aber treten — das eine Mal mehr, das andere Mal weniger — die stets vorhandenen Bakterien und Pilze mit in Tätigkeit. War das Leben der höheren Zellen z. B. im Torf bereits vollkommen erloschen, so ist das Wirken der Mikroorganismen meist allein die Ursache der entstehenden Wärme. Ausreichende Feuchtigkeit und genügende Durchlüftung sind hierbei unentbehrlich.

Die Selbst-Erwärmung der Kohle ist sicher z. T. auf rein chemische Vorgänge, in erster Linie auf die Oxydation des beigemengten Schwefeleisens zurückzuführen. Doch können auch in diesem Falle Mikroben aktiv werden¹⁾.

Wie wir wissen, wirkt aber eine feuchte Wärme von 40—45° C bei längerer Dauer hemmend oder geradezu tödlich auf die Mehrzahl der allgemein verbreiteten Mikroorganismen ein. Die erste Phase der Selbst erwärmung erreicht somit nach einigen Tagen ihren Abschluß und die Temperatur im Innern der erwärmten Massen sinkt dann gewöhnlich langsam wieder auf das Niveau der außen herrschenden Luft-Temperatur herab.

In gewissen Fällen folgt dagegen die zweite Phase der Selbst-Erhitzung, in der die Wärme bis auf ca. 70° C ansteigen kann. Die Tätigkeit der thermophilen Organismen ist für diesen Vorgang, wenn nicht ausschließlich, so doch in erster Linie verantwortlich zu machen. Die „Thermophilen“ werden also hier „thermogen“ (Wärme erzeugend).

In der 5. Vorlesung (S. 73) erwähnte ich bereits, daß es sowohl unter den Bakterien wie unter den Pilzen eine ganze Anzahl wärmeliebender Arten gibt. Thermophile Actinomyzeten sind gleichfalls nicht selten²⁾. Die bisher veröffentlichten Art-Beschreibungen sind oft so mangelhaft, daß ein Wieder-Erkennen nicht möglich ist; wahrscheinlich sind speziell unter den thermophilen Bakterien nicht wenige identisch. Diese Bakterien sind meist zur Sporenbildung befähigt. Das ist wegen der oft sehr großen Empfindlichkeit der vegetativen Zellen gegen niedere Temperaturen für die Erhaltung der Art von besonderer Wichtigkeit. Im Heu scheint namentlich ein *Bacillus calfactor* tätig zu sein, ferner einige Actinomyzeten und Schimmelpilz- (speziell *Mucor*-)Arten.

¹⁾ POTTER, Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 21, 1908, S. 647; GALLE, ebenda, Bd. 28, 1910, S. 461.

²⁾ Ein ausführliches Sammelreferat über die thermophilen Organismen von AMBROŽ findet sich im Centralbl. f. Bakt., I. Abt., Referate, Bd. 48, 1910, S. 257, 289.

Bei der Tabak-Fermentation sowie bei der Selbsterhitzung der Kohle scheinen Enzymwirkungen bzw. rein chemische Prozesse (Oxydation des Schwefeleisens) den sonst von den thermophilen Organismen ausgelösten Effekt herbeizuführen. In diesen Fällen spielt das Vorhandensein ausreichender Feuchtigkeitsmengen nicht diejenige Rolle wie in den durch thermogene Organismen veranlaßten Selbsterhitzungen. Im übrigen sind aber die Vorbedingungen hier wie dort die gleichen.

Eine lebhafte Tätigkeit der thermophilen Mikroben kann naturgemäß nur dann Platz greifen resp. wahrnehmbar werden, wenn neben genügender Feuchtigkeit noch hinreichende Mengen leicht zersetzlicher Substanzen vorhanden sind; ferner darf es nicht an dem zur Unterhaltung der intensiv verlaufenden Umsetzungsprozesse nötigen Sauerstoff fehlen und es muß viertens — durch die Größe der angehäuften Massen oder in anderer Weise — dafür gesorgt sein, daß der Wärmespeicherung im Innern nicht durch rasche Wärmeabgabe nach außen allzu großer Abbruch geschieht.

Wegen der großen Substanz-Verluste und der Minderwertigkeit des zurückbleibenden Materials ist eine bis auf 70° C ansteigende Erhitzung in praxi meist nicht erwünscht. Eine gelegentlich schon erwähnte Ausnahme bildet die bei Seuchenfällen angezeigte „Selbst-Sterilisierung“ des Stalldüngers. Bei entsprechender Beachtung der eben genannten vier Faktoren hat man es vollkommen in der Hand, ob man diese zweite Phase eintreten lassen will oder nicht.

Oberhalb 70° C erlischt das Leben der Thermophilen. Gleichwohl kann die Temperatur-Erhöhung ihren Fortgang nehmen. Das Ende dieser dritten Phase ist die Selbst-Entzündung der erhitzten Massen. Wie kommt nun diese zustande? Die Pflanzenzellen und ebenso die Mikroben sind tot. Es können also lediglich rein chemische Prozesse verantwortlich gemacht werden. Oft findet man beim Abräumen stark erhitzter Massen (Heu, Tabak, Dünger usw.) kohlige Partien, und es sind gerade diese bezw. deren Autoxydation wiederholt als Ursache der Selbst-Entflammung angesehen worden. Diese Annahme besteht jedoch zweifellos nicht zu Recht. Einerseits ist nämlich, z. B. in Rohzucker-Vorräten, Selbstentzündung möglich, ohne daß von einer voraufgehenden Verkohlung die Rede sein könnte. Andererseits hat LIEBIG schon vor langer Zeit bewiesen, daß die spontane Entflammung von Kohlenstaub nicht der Kohle an sich, sondern den an dieser kondensierten autoxydablen Substanzen (Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe usw.) zur Last geschrieben werden muß¹⁾.

Die Oxydation dieser Produkte der Gäraktivität von allerhand, während der beiden ersten Phasen wirkenden Mikroben ist es,

¹⁾ LIEBIG, Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie, 4. Aufl., 1842, S. 246.

die zur weiteren Erhitzung und zur Selbst-Entzündung führt. Haben die erhitzen Massen die Neigung, wie es besonders bei zarten jungen Pflanzen der Fall zu sein pflegt, sich in eine fein-poröse Kohle zu verwandeln, so verdichten sich jene flüchtigen leicht oxydierbaren Stoffe an deren Oberfläche. Bei genügendem Luftzutritt, z. B. beim Abräumen stark erhitzen Heues kommt es unter Funkenbildung zu einem langsamen Verglimmen der organischen Reste. Unterbleibt dagegen die Kohle-Bildung, so setzt die Entflammung explosionsartig ein. Die durch einen starken Luftzug begünstigte plötzliche Vermischung der heißen, leicht entzündlichen Gase mit dem Sauerstoff der umgebenden Luft veranlaßt eine von außen her erfolgende, fast momentan verlaufende Entzündung der erwärmten Massen. Besonders bei der Entflammung des Heues sind beide Erscheinungen mehrfach beobachtet worden. Wie ihnen vorgebeugt werden kann, ist aus dem Gesagten unschwer zu folgern. In der 15. Vorlesung werde ich einige weitere Angaben in dieser Richtung machen.

10. Vorlesung.

Umsetzungen organischer Substanzen. — Der Kreislauf des Stickstoffs:
Eiweiß-Abbau, Ammoniak- und Salpeter-Bildung.

Umsetzungen organischer Substanzen. Die Zertrümmerung der organischen Reste ist die für den Natur-Haushalt wichtigste Leistung der Mikroorganismen. Der Volksmund bezeichnet diese Vorgänge als „Fäulnis, Verwesung, Vermoderung und Gärung“. Als das Hauptmerkmal der Fäulnis gilt allgemein die Entwicklung widerlicher Gerüche, des charakteristischen Fäulnis-Gestanks. Dagegen verbindet man mit dem (von „verwehen“ abgeleiteten) Worte „Verwesung“ die Vorstellung eines ziemlich rasch und ohne auffällige Erscheinungen, besonders ohne Entwicklung widerlicher Gerüche, verlaufenden Zersetzungsprozesses. Von „Vermoderung“ redet man namentlich dann, wenn ein lebhaftes Pilzwachstum zum Auftreten des charakteristischen „modrigen“ Geruches Veranlassung gibt. Das, was man gewöhnlich „Gärung“ zu nennen pflegt, kommt in der auf das Entweichen von Gasen zurückzuführenden Schaumbildung der „gärenden“ Massen zu sinnenfälligem Ausdrucke.

Natürlich ist der landläufige Sprachgebrauch wie sonst, so auch hier nicht sehr konsequent. Man redet z. B. von „Fleisch-Fäulnis“, aber von einer, das ästhetische Empfinden weniger verletzenden „Verwesung“ der Leichen, obwohl natürlich in beiden Fällen ganz dieselben Vorgänge im Spiele sind. Die „Fäulnis“ des Holzes müßte eher „Vermoderung“ heißen usw. Zahlreiche Autoren haben versucht, diese Ausdrücke schärfer abzugrenzen durch Unterlegung genau formulierter Definitionen. Wie das in der Regel zu gehen pflegt, sind diesen an sich recht unwesentlichen Fragen große Mengen geduldigen Papiers geopfert worden.

Der landläufige Sprachgebrauch ist zweifellos wenig korrekt. Aber die Bemühungen, jene Worte zu „wissenschaftlichem“ Rang zu erheben, haben die Sache keineswegs gebessert. Man ist dabei z. T. zu Ausdrucksweisen gekommen, die sehr weit vom allgemeinen Sprachgebrauch abweichen und infolgedessen nur noch mehr Verwirrung stiften. Z. B.

werden sämtliche Bakterien und Pilze, soweit sie nicht krankheitserregend wirken, von manchen Autoren als „Gärungs-Organismen“ zusammengefaßt. Statt schlicht und einfach zu sagen: die Milch wird sauer oder sie wird schleimig, redet man von einer sauren und von einer schleimigen „Gärung der Milch“. Die klaren, jedermann verständlichen Worte „Farbstoff-Bildung“ und „Käse-Reifung“ werden durch die kaum verständlichen Ausdrücke „Pigment-Gärung“ und „Käse-Gärung“ ersetzt. Die Bindung des elementaren Stickstoffs, mitunter aber auch die Entbindung von Stickstoff aus Salpeter — also zwei sehr verschiedene Prozesse — figurieren beide als „Stickstoff-Gärung“, die Salpeter-Bildung als „Gärung des Ammoniaks“. Ich vermag mich mit diesen Benennungen nicht zu befrieden; und ich zweifle sehr, ob jemand, der sie zum ersten Male hört, sich ohne weiteres wird denken können, was mit ihnen eigentlich gemeint ist. Wenn man dagegen jemandem sagt: in der Milch wird durch Bakterientätigkeit Säure oder Schleim „gebildet“, der elementare Stickstoff wird im Boden „gebunden“ oder aus einer Salpeter-Lösung „entbunden“, das Ammoniak wird zu Salpeter „umgesetzt“, die Zellulose wird „zersetzt“ usw., so ist das nicht weniger „wissenschaftlich“, vor allem aber bedeutend verständlicher. Besonders unklar wird die Theorie der verschiedenen „Gärungen“ noch dadurch, daß gewöhnlich nicht einmal auseinander gehalten wird, ob es sich um die Bildung oder um die Zersetzung („Vergärung“) einer Substanz handelt, z. B. Alkohol-Gärung = Alkohol-Bildung, Harnstoff-Gärung = Harnstoff-Zersetzung.

Wer etwa noch weiteres über die verschiedenartigen Definitionen wissen möchte, die im Laufe der letzten hundert Jahre den Ausdrücken Fäulnis, Verwesung, Gärung usw. untergelegt worden sind, findet eine kleine „Blütenlese“ in meinem „Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie“ (S. 433—435). Ich halte es für überflüssig, hier näher darauf einzugehen. Meines Erachtens ist es das allein Richtig, für bestimmte wissenschaftliche Begriffe auch bestimmte Ausdrücke neu zu prägen und dann konsequent zu verwenden. Der gewöhnlichen Umgangs-Sprache angehörende Bezeichnungen und Redewendungen sind entweder ganz zu vermeiden, oder es ist ihnen doch ihr ursprünglicher, wenn auch etwas unklarer Sinn zu belassen. Andernfalls ergeben sich nur Mißverständnisse und höchst überflüssige Diskussionen.

Für den Verlauf der Umsetzungen und Zersetzung der organischen Stoffe ist ein Moment von besonderer Wichtigkeit, nämlich das jeweils zwischen dem vorhandenen Kohlenstoff und Stickstoff bestehende Verhältnis. Beim Vorhandensein reichlicher Mengen leicht zersetzlicher Kohlenstoff-Verbindungen — z. B. in Milch, Sauerfutter, Stalldünger — vollziehen sich die Umsetzungen des Stickstoffs z. T. in ganz anderer Weise als in einem an löslichen Kohlenstoff-

haltigen Substanzen armen Substrate (z. B. im Boden). Dabei dürfen wir nicht etwa nur an die Säuren denken, die oft aus jenen Verbindungen entstehen und deren maßgebenden Einfluß wir bereits kennen gelernt haben. Auch wenn keine Reaktions-Änderung eintritt, wirkt der Vorrat an Kohlenstoff qualitativ wie quantitativ bestimmd auf die Stickstoff-Umsetzungen ein. Die Menge des verfügbaren Kohlenstoffes ist es in den meisten Fällen, von der es abhängt, ob Salpeter gebildet oder ob er zersetzt, ob Stickstoff gebunden oder ob er entbunden wird, überhaupt ob Stickstoff-Gewinn, Stickstoff-Verlust oder Stickstoff-Gleichgewicht wahrzunehmen ist. Andere Einflüsse, speziell die Durchlüftung und der Wassergehalt des Substrates sowie der vorhandene Bestand an Mikroben dürfen selbstverständlich auch nicht übersehen oder unterschätzt werden. Im weiteren Verlauf unserer Betrachtungen werde ich aber mehrfach darauf hinzuweisen haben, wie gerade relativ kleine Differenzen im Kohlenstoffgehalte das Ergebnis sehr stark beeinflussen, mitunter geradezu zu diametral entgegengesetzten Wandlungen des Stickstoffs Veranlassung geben können.

Soweit es sich um die Umsetzung von Substanzen handelt, die im Wasser nicht oder doch nur sehr schwer löslich sind, müssen naturgemäß von den Mikroben die entsprechenden Enzyme sezerniert werden; sie treten als „Ekto-Enzyme“ in Funktion. Dagegen können lösliche Stoffe entweder durch den Organismus selbst angegriffen werden oder es kann sich auch in diesem Falle um Enzym-Wirkung handeln. Natürlich ist hier eine Produktion von Ekto-Enzymen nicht erforderlich. Im Innern der Zellen — wenigstens bis zu deren Absterben — verbleibende Endo-Enzyme erfüllen den gleichen Zweck. Die Zahl derjenigen Umsetzungen, die scheinbar nicht auf enzymatischem Wege erfolgen, wird immer kleiner. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß sie schließlich sämtlich als Enzym-Wirkungen erkannt werden.

Wenn man erwägt, daß die Prozesse, um die es sich hierbei handelt, für das Leben der Mikroben oft nicht sonderlich wichtig sind, — wir sehen ja nicht selten, daß z. B. Milchsäurebakterien ungestört weiterleben, trotzdem sie durch irgendwelche Umstände der Befähigung zur Milchsäure-Bildung verlustig gegangen sind — so liegt wohl auch von vornherein die Vorstellung am nächsten, daß nur gewisse, vom Organismus für diese speziellen Zwecke gebildete Substanzen die betreffenden Umsetzungen auslösen. Im übrigen ändert es ja an der Sache selbst kaum etwas, ob wir nun sagen, ein Organismus verdaut die aufgenommene Nahrung oder die von ihm produzierten Verdauungs-Enzyme tun dies. Ich denke, wir dürfen also für unsere Zwecke im allgemeinen darauf verzichten, bei diesem Kapitel allzu lange zu verweilen. Wer sich über derartige Fragen eingehender zu informieren wünscht, sei auf die vor-

liegenden Spezialwerke verwiesen¹⁾). Für uns sind die Enzyme nur in drei Richtungen von prinzipieller Bedeutung. Es ist dies 1. die gewöhnlich sehr große Intensität der durch sie bewirkten Umsetzungen, 2. die sehr lange Dauer der Wirkung, die nicht selten das Leben der Enzym produzierenden Organismen erheblich überragt, und 3. ihre Befähigung, die Zellen, aus denen sie entstammen, nach deren Tode selbst aufzulösen, also die sogen. Autolyse (d. h. Selbst-Auflösung) hervorzurufen.

Die Koagulierung sehr großer Milchmengen durch eine relativ verschwindend geringe Menge Labenzym (ca. 800 000 : 1) ist wohl das bekannteste Beispiel dafür, welche erstaunlichen Leistungen von derartigen Substanzen erwartet werden dürfen. Zugleich demonstriert das Kälber-Lab ebenfalls sehr deutlich die vollkommene Unabhängigkeit von dem Enzym produzierenden Organismus, bezw. das dessen Tod lange überdauernde Fortwirken des Enzyms. Wir werden uns danach nicht wundern, wenn wir erfahren, daß man z. B. für gewisse Harnstoffbakterien festgestellt hat, daß die Menge des durch sie resp. durch das in Frage kommende Enzym (Urease) umgesetzten Harnstoffs pro Stunde dem mehr als 1000 fachen des Körpergewichts der betreffenden Bakterien entspricht, oder daß wie die Harnstoffzersetzung so auch die Käsereifung, die Milchsäurebildung, die Fettzersetzung in alter Butter und manche andere Umsetzungen ungehindert fortschreiten, auch nachdem die betreffenden Mikroben abgestorben sind. Beim Beginn des Bakterien-Wachstums ist die Menge der wirksamen Enzyme und infolgedessen deren Gesamtleistung natürlich zunächst relativ gering. Weiterhin, nachdem viele Bakterien-Generationen entstanden und zum Teil bereits wieder abgestorben sind, wächst der Enzym-Vorrat und die Enzym-Wirkung immer mehr an. Das Resultat ist, daß der Höhepunkt der Enzymwirkung immer erst später erreicht wird als das Maximum der Keimzahl. Bei graphischer Darstellung folgt die Enzym-Kurve der die Keimzahl repräsentierenden Linie in engerem oder weiterem Abstande nach. Bei der Besprechung der Vorgänge in den Sauergruben und Futter-Silos (in der 15. Vorlesung) werde ich ein besonders instruktives Beispiel hierzu anführen können.

Die Selbst-Auflösung der abgestorbenen Mikroben ist nicht immer mit gleicher Deutlichkeit zu erkennen. Manche Arten neigen sehr hierzu, andere weniger. Aber auch soweit die Autolyse nur langsam vonstatten geht, ist doch jedenfalls das Austreten der Endo-Enzyme nach dem Tode der Organismen recht gut wahrnehmbar. Besonders am reifenden

¹⁾ GREEN-WINDISCH, Die Enzyme 1901; OPPENHEIMER, Die Fermente und ihre Wirkungen, 3. Aufl. 1909/10; FUHRMANN, Vorlesungen über Bakterien-Enzyme 1907.

Käse kann man diese Erscheinungen studieren. Neben den Enzymen können übrigens auch andere Stoffwechselprodukte schon während des Lebens der sie produzierenden Mikroben oder nach deren Tode sekundäre Umsetzungen auslösen. Die verschiedenen organischen Säuren, die Kohlensäure und das Ammoniak kommen hier vor allem in Betracht. Wir werden mehrfach auf solche indirekte Leistungen der Mikroben-Tätigkeit treffen.

Wenn man gegenwärtig mitunter dazu neigt, der „Enzymologie“ vor der „Bakteriologie“ den Vorrang einzuräumen und sich fast alles Interesse auf die Enzyme konzentriert, so scheint mir das, wie gesagt, nicht ganz angebracht zu sein. Das Wichtigste ist doch zweifellos der die Enzyme produzierende Organismus selbst, nicht aber dessen Produkte. Züchtung und Haltung leistungsfähiger Milchkühe sind ja auch unstreitig von weit größerer Bedeutung als das detaillierte Studium der vom tierischen Organismus für die Umwandlung der Futterstoffe in Milch gebildeten und benutzten Enzyme.

Ehe wir die einzelnen Leistungen der Mikroben näher ins Auge fassen, muß ich noch kurz darauf hinweisen, daß in agrikultur-bakteriologischen Schriften die „Wirksamkeit“, „Leistungsfähigkeit“ oder „Aktivität“ der Organismen mit Vorliebe „Virulenz“ genannt wird. Sind schon Fremdworte nicht immer zu vermeiden, so sollten sie doch jedenfalls und namentlich im wissenschaftlichen Sprachgebrauch richtig angewendet werden. „Virulenz“ (von virus = Gift) heißt nichts anderes als „Giftigkeit“. Der Ausdruck ist seit langem in der medizinischen Bakteriologie üblich und hier in der Regel ganz am Platze. Wenn aber von einer ungleichen „Virulenz“ der Milchsäure-Bakterien, der Stickstoff bindenden und ähnlicher Mikroben die Rede ist, oder von einer „Virulenz der Gasbildung“ („Giftigkeit der Gasbildung“!) oder gar von einem „Milchsäure-Virus“ („Milchsäure-Gift“ statt „Impfstoff“), so ist das entschieden nicht zu billigen. Ich habe mich bereits mehrfach in diesem Sinne ausgesprochen. Es dürfte aber, wie die Erfahrung gelehrt hat, nicht überflüssig sein, dies auch an dieser Stelle noch einmal zu tun. —

Soweit die von den Mikroben ausgelösten Umsetzungen auf die Qualität eines Nahrungsmittels (Milch, Butter, Käse usw.) von Einfluß sind, ist es selbstverständlich von sehr großer Bedeutung, welchen Eindruck die entstehenden Umsetzungsprodukte auf unseren Geruchs- und Geschmacks-Sinn geltend machen. Aber auch in anderen Fällen gibt das Auftreten spezifisch riechender Substanzen manche wichtige Auskunft über die jeweils wirksamen Mikroben. Man denke an den oft wahrnehmbaren eigenartigen Geruch der für Molkereizwecke benutzten Räume, Gerätschaften, an den z. T. recht wechselnden Geruch von Erde, Dünger, Sauerfutter usw. Mitunter wissen wir zwar, auf welche Um-

setzungen diese spezifisch riechenden und schmeckenden Stoffe zurückzuführen sind, und wie es mit dem chemischen Charakter dieser Substanzen steht. Häufiger wissen wir das aber nicht; und gerade in bezug auf die eigentliche „Aroma-Produktion“ in Butter, Käse usw. bleibt einstweilen noch recht viel zu erforschen. Der Einfluß von „Standorts-Varietäten“ und von besonders gut wirkenden „Kultur-Rassen“ von Bakterien und Hefen spielt gerade in bezug auf die Aroma-Produktion eine nicht zu unterschätzende Rolle. Bei der Besprechung der Mikroben-Tätigkeit in Butter und Käse werden wir hierauf zurückkommen.

Der Kreislauf des Stickstoffs. Die wirtschaftliche Bedeutung der Stickstoff-Verbindungen ist sehr groß. Die Umsetzungen gerade dieser Substanzen sind dementsprechend schon seit längerer Zeit und bereits ziemlich eingehend erforscht worden. Die hier vorliegenden Verhältnisse sind nicht ganz einfach. Wir wollen deshalb an der Hand eines Schemas zunächst nur den Grundlinien der mannigfachen Wandlungen des Stickstoffs nachgehen, von allerhand wissenswerten Einzelheiten aber vorläufig absehen. Sie werden in späteren Vorlesungen umso leichter nach Zusammenhang und wirtschaftlicher Bedeutung richtig zu erfassen sein.

Der in den höheren Pflanzen verlaufende Aufbau der stickstoffhaltigen Stoffe vollzieht sich bekanntlich im Prinzip derart, daß aus Salpeter oder aus Ammoniak zunächst Amide und aus diesen Eiweiß-Verbindungen entstehen. Bei den Umsetzungen im tierischen Organismus handelt es sich vornehmlich um Wandlungen der Eiweißkörper. Als Abfallprodukte treten wiederum Amide auf. Im Reiche der Bakterien und Pilze haben wir es dagegen mit einer weit größeren Zahl von Wegen zu tun, auf denen der Stickstoff bald in der einen, bald in der andern Richtung umgesetzt werden kann.

Wie Abb. 24 zeigt, kommen etwa 15 Prozesse in Frage, von denen aber einstweilen nur 8 oder 9 mehr oder weniger eingehend erforscht worden sind. Die Überführung des Eiweiß-Stickstoffs in Amid-Bindung (1), die Ammoniak-Bildung (2), sowie die Umwandlung des Ammoniaks über Nitrit in Nitrat, also die Salpeter-Bildung oder Nitrifikation (3) können als „normale Abbau-Prozesse“ zusammengefaßt werden. Sie sind das äquivalente Gegenstück zu dem von den höheren Pflanzen vollzogenen Aufbau der organischen Stickstoff-Verbindungen.

Wird das Nitrat wieder zu Nitrit und dieses zu Ammoniak zurückverwandelt, so pflegt man von „Salpeter-Reduktion“ zu sprechen (4). Benutzen die Mikroorganismen Ammon-, Amid- bzw. Nitrat-Stickstoff zum Aufbau ihrer Körpersubstanz, so redet man von „Eiweiß-Bildung“ oder genauer von „Ammon-, Amid- resp. Nitrat-Assimilation (5)

und 6). Zusammen mit der Nitrat- (und Nitrit-) Reduktion stellen diese Umsetzungen im Vergleich zum normalen Stickstoff-Abbau „rückläufige“ Prozesse dar. Die Nitrat und Ammon assimilierenden Mikroben konkurrieren mit den höheren Pflanzen. Wir werden bald sehen, daß diese Konkurrenz in der Tat für unsere Nutzpflanzen unter Umständen recht unangenehm werden kann.

Übrigens geht die Assimilation des Nitrat-Stickstoffs möglicherweise bei den niederen Organismen ebenfalls über die Ammon- und die Amid-Stufe. Der Pfeil 6 soll in unserem Schema nur den Prozeß selbst markieren, nicht aber dessen wirklichen Verlauf zur Darstellung bringen.

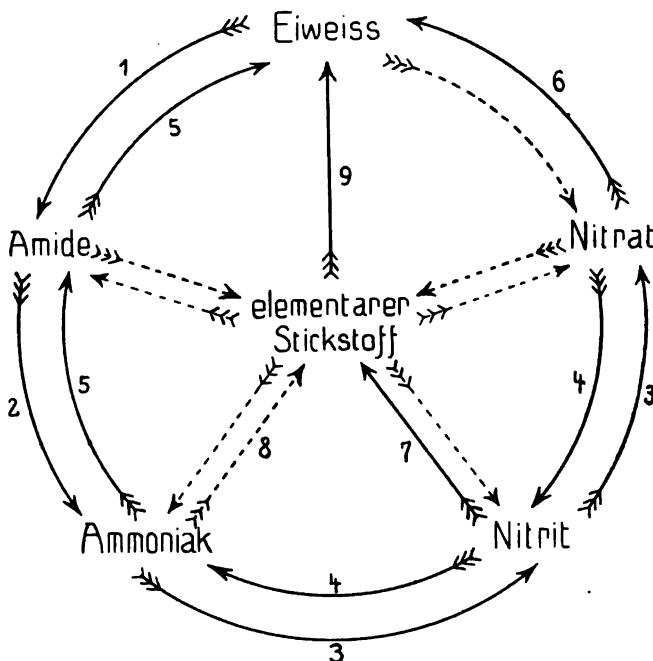


Abb. 24. Schematische Darstellung des Stickstoff-Kreislaufes.

1) Eiweiß-Abbau, 2) Ammoniak-Bildung, 3) Nitrifikation, 4) Nitrat-Reduktion, 5) Ammon- und Amid-Assimilation, 6) Nitrat-Assimilation, 7) Denitrifikation, 8) Ammon-Oxydation, 9) Stickstoff-Bindung.

Die punktierten Pfeile bezeichnen einige noch fragliche Wandlungen des Stickstoffes.

Wichtiger als die rückläufigen Stickstoff-Umsetzungen sind nun aber die unter Entbindung elementaren Stickstoffs verlaufenden Zersetzungerscheinungen. Genau bekannt ist bisher nur die vom Nitrat über Nitrit oder unmittelbar von diesem ausgehende „Denitrifikation“ (7). Die Oxydation des Ammoniaks zu Wasser und elementarem Stickstoff (8) spielt zwar aller Wahrscheinlichkeit nach eine durchaus nicht unbedeutende Rolle; sie hat aber noch nicht exakt nachgewiesen werden können. Möglicherweise kann auch aus Amiden, und vielleicht aus Nitraten — ohne intermediäres Auftreten von Ammoniak bzw. Nitrit

— direkt Stickstoff in Freiheit gesetzt werden. Aber irgend etwas Sichereres wissen wir in beiden Fällen nicht.

Den Verlusten an gebundenem Stickstoff stehen Gewinne durch Fixierung des elementaren Stickstoffs gegenüber. Der einzige genauer untersuchte Weg der Stickstoffbindung, die Stickstoff-Assimilation (9), liefert als erstes erkennbares Produkt Substanzen eiweißartiger Beschaffenheit. Sowohl die in den Wurzeln der Leguminosen und einiger anderen Gewächse lebenden Knöllchenbakterien und Pilzarten wie die bisher bekannt gewordenen, frei im Boden vegetierenden Stickstoff bindenden Mikroben zeigen dieses Verhalten. Doch liegen einige Angaben vor, die dafür zu sprechen scheinen, daß eine Fixierung des Stickstoffs auch auf anderem Wege möglich ist. Der elementare Stickstoff könnte eventuell zu Nitrit oder Nitrat oxydiert, und unter Vereinigung mit Wasserstoff in Ammoniak bzw. Amid umgewandelt werden. Die zuletzt genannten Umsetzungen sind zwar auch als Vorstufe der Assimilation des elementaren Stickstoffs wiederholt vermutet, aber jedenfalls nie als solche nachgewiesen worden. Wenn sich die bisher noch unsicheren Befunde über die verschiedenen Bindungs-Möglichkeiten bewahrheiten sollten, so würden die betreffenden Mikroben also ähnliche Umsetzungen auslösen, wie sie von der chemischen Industrie neuerdings zur Herstellung stickstoffhaltiger Düngemittel nutzbar gemacht worden sind.

Die Bezeichnungen für die verschiedenen Umsetzungen werden zwar meist, aber nicht ausnahmslos so gebraucht, wie ich es tat. Namentlich gilt dies in bezug auf die Ausdrücke „Denitrifikation“ und „Nitrat-reduktion“. Manche Autoren bezeichnen schlechthin jede Umsetzung des Salpeters als „Denitrifikation“. Das ist zweifellos nicht nachahmenswert. Die Abspaltung von elementarem Stickstoff aus Salpeter muß selbstverständlich ganz anders bewertet werden als die Rückverwandlung des Nitrats in Ammoniak oder als die Assimilation zu Mikroben-Substanz. Ein bestimmtes Wort sollte auch immer nur für einen bestimmten Vorgang benutzt werden. Ist man nicht in der Lage, anzugeben, in welcher Richtung z. B. der Salpeter umgesetzt wurde, so sollte man eben auch nur ganz allgemein von einem „Verschwinden“, einer „Umsetzung“ des Nitrates sprechen. Ebenfalls nicht zweckmäßig ist die in der älteren Literatur ziemlich häufige, aber mehr und mehr ausgeschaltete Gleichsetzung von Denitrifikation und Salpeter-Reduktion. Wie gesagt, sind die zuvor gegebenen Definitionen jetzt fast allgemein gebräuchlich. Wenn die Stickstoff-Bindung, wie es zuweilen geschieht, „Nitrifikation“ genannt wird, so ist das ein offensichtlicher Mißgriff.

Es sind neuerdings Vorschläge zu geänderter und konsequenterer Benennung der verschiedenen Stickstoff-Umsetzungen gemacht worden. So sehr derartigen Vorschlägen — im Hinblick auf die nicht allzu selten

vorkommende, inkorrekte Ausdrucksweise — zugestimmt werden muß, so wenig darf doch verkannt werden, daß eine solche Neuerung sich nur dann wird einbürgern können, wenn die betreffenden Benennungen besonders glücklich gewählt werden.

Eine im ersten Augenblick durch Einheitlichkeit und Konsequenz bestechende Nomenklatur hat J. G. LIPMAN aufgestellt¹⁾. Die verschiedenen Umsetzungen des Stickstoffs wären danach, wie folgt, zu bezeichnen:

Ammonifikation	Deammonifikation
Nitrifikation	Denitrifikation
Proteofikation	Deproteofikation
Azotifikation	Deazotifikation

Der Bildung von Ammoniak, Nitrat und Eiweiß bzw. der Bindung des elementaren Stickstoffs, ständen die durch die Vorsilbe De- kenntlich gemachten umgekehrt verlaufenden Prozesse gegenüber. Leider erhält dabei der Ausdruck Denitrifikation die Bedeutung Nitrat-Reduktion, und das, was man bisher Denitrifikation nannte, müßte nun Deazotifikation heißen. Sowohl dieser wie der Ausdruck Azotifikation sind sehr wenig glücklich gewählt. Denn Azotifikation heißt ja Stickstoff-Bildung aber nicht Stickstoff-Bindung.

Die an den betreffenden Umsetzungen tätigen Bakterien sollen heißen:

Ammono-Bakterien	Deammono-Bakterien
Nitro-Bakterien	Denitro-Bakterien
Proteo-Bakterien	Deproteo-Bakterien
Azoto-Bakterien	Deazoto-Bakterien.

Durch ein beigelegtes zweites Wort soll das Ausgangs- bzw. Endprodukt kenntlich gemacht werden, z. B.:

Proteo-Ammono-Bakterien bilden aus Eiweiß Ammoniak

Ammono-Proteo-Bakterien " " Ammoniak Eiweiß.

Naturgemäß resultieren hieraus viel Doppel-Bezeichnungen, so:

Proteo-Ammono-Bakterien = Deproteo-Ammono-Bakterien

Ammono-Nitro-Bakterien = Deammono-Nitri-Bakterien.

Am wenigsten erfreulich ist es aber, daß sich infolge der meist vorhandenen Befähigung zur Auslösung verschiedener Umsetzungen oft höchst komplizierte und unübersichtliche Bezeichnungen ergeben würden. Z. B. kann das den Knöllchenbakterien nahestehende *Bacterium radiobacter* 1. sowohl aus Eiweiß wie aus Amiden Ammoniak bilden, 2. Nitrat, Ammoniak und Amide assimilieren, 3. Nitrat sowohl zu Ammoniak reduzieren wie unter Abspaltung elementaren Stickstoffs zersetzen (denitrifizieren) und 4. kann es elementaren Stickstoff assimilieren. Es wäre demnach (unter Fortlassung der außerdem noch möglichen Doppelbenennungen) ein 1. Proteo-Amino-Ammono-, 2. Nitra-Ammono-Amino-Proteo-, 3. Denitro-Ammono- und Deazoto-Nitra-Azo-, 4. Azo-Azoto-Bakterium. —

Es erscheint mir danaeh zweckmäßiger, vorläufig die bisher gebräuchlichen Benennungen beizubehalten²⁾.

Jedenfalls sollte es bei der Einführung neuer Benennungen vermieden werden, bereits im Gebrauch befindlichen Ausdrücken andere Begriffe unterzulegen, als dies bisher geschah. Der Mißverständnisse würde sonst kein Ende sein. Selbstverständlich müßte sprachliche Richtig-

¹⁾ Botanical Gazette, Vol. 51, 1911, p. 454.

²⁾ Vgl. auch meine Kritik von LIPMANS Vorschlag im Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 34, 1912, S. 275.

keit als erste conditio sine qua non respektiert werden. — Einstweilen müssen wir aber schon damit sehr zufrieden sein, wenn uns die Autoren nur stets klar erkennen lassen, was sie unter dem einen oder dem anderen Ausdrucke verstanden wissen wollen.

Der Abbau der Eiweißsubstanzen. Von der Eiweiß-Zerlegung wünschen wir zuweilen, daß sie sich innerhalb relativ enger Grenzen halte; in anderen Fällen soll sie dagegen möglichst vollständig sein. Bei der Käsereifung dürfen z. B. die der Milch entstammenden Eiweißstoffe nur eine teilweise Umwandlung, gewissermaßen eine Vor-Verdauung erfahren, während bei dem Abbau der tierischen und pflanzlichen Reste im Stalldünger und im Boden der organische Stickstoff möglichst rasch und vollständig mineralisiert, d. h. in Ammoniak und in Salpeter umgewandelt werden soll. Wegen der sehr großen Zahl und recht verschiedenartigen chemischen Konstitution der organischen Stickstoff-Verbindungen müssen sich naturgemäß, wie hinsichtlich des Verlaufes, so auch in bezug auf die beteiligten Organismen quantitativ und qualitativ recht wechselvolle Bilder ergeben. Hierbei ist namentlich zu beachten, daß gerade beim Abbau der Eiweißsubstanzen mehr als sonst höhere Organismen in Wettbewerb treten mit den Mikroben. Das pflanzliche Eiweiß wird nach Möglichkeit vom Tierkörper ausgenutzt, so daß fast nur Amidsubstanzen zur Ausscheidung gelangen. Ein Tier frißt das andere, und selbst die Kadaver verendeter Tiere finden noch ihre Liebhaber. Vögel, Käfer, Würmer usw. erfreuen sich am „leckeren“ Mahle. Immerhin bleibt für die Mikroorganismen noch gerade genug zu tun. Mitunter schützen wir sie ja direkt vor einer „unlauteren Konkurrenz“ höherer Organismen. Z. B. suchen wir die Fliegenlarven und Milben vom Käse fernzuhalten; nur die an der Reifung beteiligten Mikroben sollen hier ihre Tätigkeit entfalten.

Neben den Bakterien spielen Schimmel- und Sproßpilze beim Eiweiß-Abbau oft eine wichtige Rolle. Die Weichkäse-Reifung liefert besonders instruktive Beispiele für derartige Symbiosen. Sowohl aërobie wie anaërobie, psychrophile wie thermophile Eiweißzersetzer treten in Tätigkeit.

Manche Autoren sind der Meinung, daß die obligat Anaëroben für die Eiweißzerlegung von größter Bedeutung seien. Nur sie bewirkten die „richtige Fäulnis“. Indessen ist z. B. gerade an der Fäulnis des Fleisches und der Eier sehr oft eine aërobe Art, das *Bacterium vulgare* (oft auch *Bac. Proteus* genannt) in hervorragendem Maße beteiligt. Da eine genaue Definition für „Fäulnis“ nicht gegeben werden kann, so ist natürlich auch mit den Ausdrücken „richtige“ und „nicht richtige“ Fäulnis nicht viel anzufangen. Allerdings darf zugegeben werden, daß besonders die Kulturen des streng anaëroben *Bac. putreficus* und der ihm nahestehenden Formen gewöhnlich den aller-übelsten Fäulnisgestank verbreiten. In der Regel — die aber wieder nicht ohne Ausnahmen ist — stellt sich die Sache so dar, daß der Anfang der Eiweißzerlegung rascher

anaerob, die mit der Ammoniakbildung abschließenden Endprozesse dagegen lebhafter aerob verlaufen. Auf die Ammoniakbildung komme ich sogleich noch näher zu sprechen. Einstweilen seien nur einige von H. TISSIER¹⁾ ermittelte Zahlen mitgeteilt, die zeigen, wieviel von dem in den verschiedenen eiweißhaltigen Substanzen vorhandenen Stickstoff (während eines Monats bei 37° C) in Lösung gebracht wurde:

	durch verschiedene Stämme a. d. Gruppe d. <i>B. putreficus</i>	durch <i>Bact. vulgare</i>
		(<i>B. proteus</i>)
Eier-Eiweiß	100 %	2 %
Blut-Eiweiß	86—91 "	66 "
vegetabilisches Eiweiß .	61—72 "	44,5 "
Fleisch	82—100 "	18 "
Milch	93—98 "	26 "
Linsen	33—53 "	2,8 "
weiße Bohnen	13—44 "	0 "

Aerobe sporenbildende Bakterien aus der Gruppe des *Bac. subtilis* können sich, wie wir noch sehen werden, ebenfalls recht lebhaft an der Zertrümmerung eiweißhaltiger Stoffe beteiligen.

Soweit die Ausgangsmaterialien (z. B. Käsestoff, Nährgelatine) wasser-unlöslich sind, müssen selbstverständlich Ekto-Enzyme in Tätigkeit treten. Im andern Falle können Endo-Enzyme wirksam sein, vielleicht sind sie es in der Tat stets. Teils ähneln die Enzyme dem Pepsin, teils dem Trypsin, teils auch dem Erepsin der höheren Organismen. Besonders bemerkenswert ist, daß nicht wenige Mikroben auch ein den Käsestoff in der nicht sauren Milch koagulierendes, also Lab-artiges Enzym produzieren. Sie veranlassen die sogen. käsiges Gerinnung der Milch, der eine Lösung des Käsestoffs folgt. Den von den Bakterien und Pilzen gebildeten Enzymen können ähnliche Stoffe pflanzlicher und tierischer Herkunft zur Seite treten. Z. B. spielt, wie wir später sehen werden, in manchen Labkäsen das dem Kalbsmagen zugleich mit dem Lab entzogene Pepsin eine nicht unwichtige Rolle. Im Sauerfutter können ebenfalls eiweißabbauende Enzyme wirksam sein, die den Zellen der eingebrachten Pflanzenmassen entstammen.

Soweit die entstehenden Amide, Amidosäuren usw. für uns von Interesse sind, werden wir uns weiterhin etwas näher mit ihnen bekannt machen. Nicht gerade selten entstehen bei dem partiellen Eiweißabbau auch giftige Stoffwechselprodukte, Leichengifte, Fäulnisalkaloide, Ptomaine. In der 14. Vorlesung werde ich ihrer kurz gedenken.

Ammoniak-Bildung. Alle organischen Stickstoff-Verbindungen werden früher oder später in Ammoniak übergeführt.

Das gilt speziell auch für sehr schwer angreifbare Substanzen wie Chitin²⁾), ferner für solche Stoffe, die in einigermaßen großen Quantitäten auf den höheren Organismus

¹⁾ Annales de l'Institut Pasteur, T. 26, 1912, p. 522.

²⁾ W. BENECKE, Botan. Zeitung, Bd. 63, 1905, I. Abt., S. 227; STÖRMER, Jahresber. d. Vereinigung f. angewandte Botanik, Bd. 5, 1907, S. 128.

ausgesprochen schädlich wirken, z. B. Chinin, Strychnin, Morphin¹⁾, Nikotin²⁾ sowie für die von gewissen krankheitserregenden Bakterien produzierten ungemein heftigen Gifte³⁾.

Die Zahl der zur Ammoniakbildung befähigten Pilz- und Bakterien-Arten ist sehr groß. Speziell unter den Bakterien gibt es nur wenige, die nicht zu dieser Funktion befähigt wären. Im einzelnen differiert naturgemäß die Intensität der Ammoniakbildung nicht nur bei den verschiedenen Arten, sondern oft auch bei den einzelnen Stämmen, resp. Varietäten und Rassen derselben Art. Die Konstanz ist in dieser Hinsicht ebenfalls gewöhnlich ziemlich gering. Im allgemeinen darf man sagen, daß Luftzutritt den Prozeß begünstigt, also die Tätigkeit aërober Organismen in diesem Falle überwiegt. Nur bei manchen Substanzen, z. B. beim Fleischmehl, erhält man bei Luftabschluß, bezw. bei der Einsaat anaërober Keime meist etwas höhere Ammoniakzahlen. Soweit es sich aber um den Abbau komplizierter Substanzen handelt, spielen sicher Symbiosen verschiedener Arten, speziell auch von Anaëroben und Aëroben, im lagernden Stalldünger, im Boden usw. eine sehr wichtige, einstweilen noch nicht genau festgestellte Rolle.

Als häufigste Ammoniakbildner kann man im allgemeinen verschiedene Sporenbildner aus der Verwandtschaft des *Bacillus subtilis* ansprechen (*Bac. mycoïdes*, *Megaterium*, *mesentericus* u. a.), ferner die sehr verbreiteten Fluoreszenten sowie die sogen. *Proteus*-Formen (*Bact. vulgare*). Aber auch allerhand andere ungefärbte oder pigmentierte Kurzstäbchen treten nicht selten in Aktion, desgleichen Mikrokokken und Streptokokken.

Besonders beachtenswert und praktisch wichtig ist, daß der Eiweiß-Stickstoff in der Regel nur langsam und unvollständig, der Amid-Stickstoff dagegen meist rasch und fast restlos in Ammoniak übergeht. Diese Unterschiede sind zur Erklärung des differenten Verhaltens der organischen Stickstoffdünger von großer Bedeutung. Ist, wie bei den eiweißartigen Substanzen, der Nährwert hoch, so findet eine üppige Bakterien- und Pilz-Wucherung statt; die Hauptmenge des Stickstoffs bleibt infolgedessen in organischer Bindung. Ist dagegen, wie beim Harnstoff, der Nährwert gering, so rufen relativ wenig zahlreiche Bakterien eine lebhafte Ammoniakbildung hervor. — Auf Tafel VII (Fig. 1) sind zwei Kolben dargestellt, die diesen (im ersten Augenblick wohl etwas überraschenden) Gegensatz von Bakterien-Wachstum und Ammoniak-Produktion deutlich demonstrieren. Sowohl die Harnstoff- wie die Pepton-Bouillon wurde mit etwas Mist-Flüssigkeit geimpft. Im ersten Fall blieb die Lösung fast vollkommen klar, im zweiten Fall ist sie erfüllt von

¹⁾ SOYKA, Archiv f. Hygiene, Bd. 2, 1884, S. 281.

²⁾ J. BEHRENS, Zeitschr. f. Pflanzenkrankheiten, Bd. 3, 1893, S. 65, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 7, 1901, S. 1.

³⁾ CHARRIN et MANGIN, Comptes rendus de la Soc. de Biologie, T. 49, 1897, p. 545; E. METCHNIKOFF, ebenda, p. 592.

graugelblichen, schleimigen und flockigen Bakterienmassen. Daß es aber nur in der Harnstoff-, nicht in der Pepton-Bouillon zu einer lebhaften Ammoniakbildung kam, können wir daran erkennen, daß nur in jenem Kolben, nicht dagegen in diesem das oben eingehängte Curcuma-Papier durch das verdunstende Ammoniak von Gelb in Rotbraun verfärbt worden ist.

Allerdings unterliegen nicht alle Amide einer glatten Ammonifikation. Z. B. wissen wir vom Asparagin, daß es eine ziemlich gute Bakterien-Nahrung darstellt (vgl. Tafel IV). Eben deshalb kann es nur zum Teil zu Ammoniak umgesetzt werden. Mit den in den flüssigen Ausscheidungen unserer Haustiere enthaltenen Stickstoff-Verbindungen, in erster Linie also mit dem Harnstoff, verhält es sich anders. Daher der oft in den Ställen wahrnehmbare Ammoniak-Geruch und die rasche und kräftige Dünge-Wirkung dieser Stoffe. Die Formel für die Harnstoff-Umsetzung lautet:

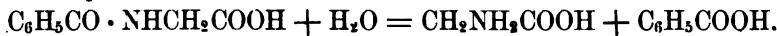


Luft-An- oder -Abwesenheit ist für diesen Hydratations-Prozeß ohne merklichen Einfluß. Zwar die Harnstoff-Bakterien — die übrigens schon in recht stattlicher Arten-Zahl bekannt sind — gedeihen meist aërob entschieden besser als anaërob. Aber es bedarf nur einer geringen Entwicklung dieser Keime. Das in der Regel sehr kräftig wirkende Harnstoff spaltende Enzym, die Urease, ist naturgemäß unabhängig vom Luftzutritt. Auch in tiefen, möglichst luftdicht abgeschlossenen Jauche- und Gülle-Gruben verläuft infolgedessen die Ammoniakbildung ganz ungestört.

Der kräftigste der bisher bekannt gewordenen Harnstoffzersetzer ist der *Bacillus Pasteuri*. In Bouillonkulturen zerlegt er den in großen Mengen zugesetzten Harnstoff (etwa 10 %) innerhalb weniger Tage. Diese Art braucht Eiweiß-Nahrung, sie fehlt deshalb nicht selten in der Ackererde. Die hier vorhandenen Spezies kommen mit Harnstoff als alleiniger Stickstoffquelle aus, größtenteils ist auch der Bedarf an aus andern Verbindungen (organischen Salzen u. dgl.) zu beschaffendem Kohlenstoff keineswegs groß. Die häufigsten dieser Harnstoffzersetzer haben wir schon bei anderer Gelegenheit kennen gelernt. Es sind dies: *Bact. vulgare*, *fluorescens*, *coli*, *erythrogenes* und *prodigiosum*. Natürlich zeigen auch in dieser Hinsicht die verschiedenen Stämme und Rassen ein ungleiches Verhalten. Besondere Arten-Namen daraufhin zu kreieren, ist entschieden nicht angebracht. In der französischen, z. T. auch in der deutschen und englischen Literatur sind die Harnstoffbakterien sogar in bestimmte Genera (*Urobacillus*, *Urosarcina*, *Urococcus*) verwiesen worden. Das ist besonders wegen der Inkonstanz dieser Funktion zweifellos nicht am Platze. Neben allerhand Stäbchen können auch Mikrokokken und Streptokokken Harnstoff zersetzen (vgl. Abb. 4), desgleichen Schimmelpilze und sogar höhere Pflanzen. Manche von ihnen, z. B. die Sojabohne, sind so reich an Urease, daß man technisch davon Gebrauch gemacht hat¹⁾.

¹⁾ TAKEUCHI, Chemiker-Zeitung, Bd. 35, 1911, S. 408.

Die Hippursäure wird im allgemeinen langsamer zersetzt als der Harnstoff. Luftzutritt ist für diesen Prozeß notwendig. Nur wenn Nitrate oder Sulfate zugegen sind, verläuft er auch anaerob. Zunächst entsteht Glykokoll und Benzoësäure nach der Formel:



In der Regel wird das Glykokoll von denselben Organismen (Bakterien und Schimmelpilzen) weiter zu Ammoniak umgesetzt. Z. T. treten dieselben Arten in Tätigkeit wie bei der Hydratation des Harnstoffs.

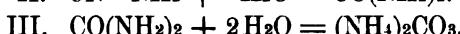
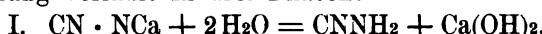
Die besonders in stickstoffreichen Guano-Sorten in ziemlich ansehnlichen Quantitäten vorkommende Harnsäure kann sowohl aërob wie anaerob ammonifiziert werden. Intermediär tritt Allantoïn und Harnstoff auf, nach den Formeln:



Manche Arten bilden nur Harnstoff. Häufiger geht aber die Umsetzung sogleich weiter bis zum Ammoniak.

Bei Luftzutritt treten namentlich Fluoreszenten und andere Kurzstäbchen in Tätigkeit. Bei Luftabschluß ist eine besondere sporenbildende Art, der *Bacillus acidi urici* wirksam¹⁾. Schimmelpilze erwiesen sich ebenfalls zur Harnsäure-Zersetzung befähigt.

Unter günstigen Bedingungen verläuft die Ammoniak-Bildung aus Harnstoff, Hippur- und Harnsäure so gut wie restlos. Das gleiche gilt für das Zyanamid, das aus dem technischen Kalzium-Zyanamid, dem sogen. „Kalkstickstoff“ abgespalten wird, sobald dieser mit der feuchten Erde oder überhaupt nur mit Wasser in Berührung kommt. Die gesamte Umsetzung verläuft in drei Phasen:



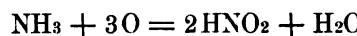
Von Bakterien scheint das Zyanamid nicht angegriffen zu werden. Dagegen sind verschiedene Schimmelpilze sowohl zur Umwandlung des Zyanamids in Harnstoff wie zur anschließenden Ammonifikation befähigt. Von größerer Bedeutung ist aber, daß allerhand Bodenkolloide, in erster Linie Humusstoffe, das Zyanamid zu Harnstoff (nicht zu Ammoniak) umsetzen können. Das Zyanamid verschwindet in sterilisierter Erde ebenso schnell, zuweilen sogar noch rascher als in nicht sterilisierter. Die Ammoniakbildung ist dann das Werk von Bakterien, unter denen einige gelb gefärbte Kurzstäbchen zu dominieren pflegen.

Daß hier andere Ammoniakbildner in den Vordergrund treten als bei der Harnstoff-Zersetzung, scheint seinen Grund darin zu haben, daß sowohl das Zyanamid wie andere, noch nicht näher bekannte Nebenprodukte die typischen „Harnstoff-Bakterien“

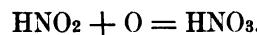
¹⁾ LIEBERT, Verslag van de gewone vergadering d. wis- en natuurkund. Afdeel. Akad. Amsterdam, Bd. 17, 1909, blz. 990.

mehr schädigen als die „Kalkstickstoff-Bakterien“. Sowohl bei der Einwirkung der Zyanamid-Pilze wie der Kolloide wird der Stickstoff offenbar nicht glatt in Harnstoff bzw. in Ammoniak umgesetzt. Welche Neben-Reaktionen aber hier Platz greifen, ist noch nicht genau festgestellt. Mehrere Autoren haben gemeint, die Polymerisierung des Zyanamids zu Dizyandiamid spiele eine sehr wichtige Rolle. Das ist indessen nicht zutreffend.

Salpeter-Bildung. Die Nitrifikation des Ammoniaks ist die dritte und letzte Stufe des normalen Abbau-Prozesses. Auch sie verläuft unter günstigen Bedingungen rasch und restlos. Ob es Organismen gibt, die das Ammoniak direkt zu Salpetersäure oxydieren, steht noch dahin. Ebenso ist es noch nicht entschieden, ob eine Nitrifikation organischen Stickstoffs — unter Ausschaltung der Ammoniak-Stufe — möglich ist. Genau bekannt sind bisher nur zwei Gruppen nitrifizierender Bakterien. Die Nitritbakterien setzen das Ammoniak zu salpetriger Säure um:



und die Nitratbakterien vollenden die Oxydation:



Da es sich um Oxydationen handelt, können diese Prozesse natürlich nur aërob von statten gehen. Bei der Veratmung des Ammoniaks resp. der salpetrigen Säure wird die zur Assimilation der Kohlensäure erforderliche Energie gewonnen. Die Salpeterbakterien benötigen also zu ihrer Ernährung nicht (wie fast alle anderen Mikroben) organischer Stoffe. Ja sie treten sogar bei Anwesenheit großer Mengen löslicher organischer Substanzen überhaupt nicht in Tätigkeit. Kleine Quantitäten können allerdings günstig wirken. Diese Empfindlichkeit, die außer den Salpeterbakterien nur noch verhältnismäßig wenigen, erst neuerdings bekannt gewordenen Bakterienarten eigen ist, hat die Versuche zur Gewinnung von Reinkulturen ziemlich lange illusorisch gemacht. Die sonst gebräuchlichen Gelatine- oder Agar-Gußkulturen führen hier nicht zum Ziele. Aber auch bei Anwendung besonderer Züchtungsmethoden ist die Isolierung dieser Organismen durchaus keine leicht zu lösende Aufgabe.

Das Vorhandensein der zwei Gruppen von Salpeterbakterien, der Nitrit- und der Nitrat-Bildner, sowie deren Abneigung gegen große Mengen löslicher Kohlenstoff-Verbindungen war allerdings schon seit längerer Zeit bekannt. Aber erst 1890 gelang dem Petersburger Bakteriologen WINOGRADSKY die Reinzüchtung dieser Organismen. Die Benutzung der von W. KÜHNE an Stelle der Gelatine und des Agars in Vorschlag gebrachten Kieselsäure-Gallerte machte dies möglich. Die Gruppe der teils ovalen, teils kugligen, polar begeißelten Nitritbakterien erhielt den Namen *Nitrosomonas*. Die kurzstäbchenförmigen, unbeweglichen Nitratbildner wurden *Bacillus Nitrobacter* genannt.

Mit Hilfe seiner Reinkulturen hat WINOGRADSKY weiterhin in Gemeinschaft mit OMELIANSKY Versuche über die Empfindlichkeit der Salpeterbakterien gegenüber einigen organischen Substanzen und gegen Ammoniak ausgeführt¹⁾. Es ergab sich, daß folgende Quantitäten die Entwicklung zum Stillstand brachten:

	Pepton	Asparagin	Harnstoff	Glukose	Ammoniak
Nitrit-Bakterien . . .	0,2 %	0,3 %	?	0,2 %	—
Nitrat- " . . .	1,25 "	0,5—1,0 "	> 1 %	0,2—0,3 "	0,015 %

Aus diesen Befunden hat man weitläufige, aber entschieden unrichtige Schlüsse gezogen. Zwei fast in jedem Lehrbuch und in jeder einschlägigen Arbeit wiederkehrende Dogmen lauteten: Die Salpeterbildung tritt im Boden erst ein, wenn alle löslichen organischen Stoffe zersetzt sind, und erst nachdem sämtliches Ammoniak in Nitrit umgewandelt ist, können die Nitratbakterien ihr Werk beginnen. Vor etwa 10 Jahren wies ich darauf hin, daß beide Sätze nicht den Tatsachen entsprechen²⁾. Eine ganze Reihe von Arbeiten hat dann auch bestätigt, daß sich dies so verhält. Die große Empfindlichkeit des Nitratbildners gegen Ammoniak macht sich nur dem freien Ammoniak gegenüber geltend. Die im Boden fast allein in Betracht kommenden Ammoniaksalze werden in ziemlich hohen Konzentrationen vertragen. Ebenso schädigen die organischen Stoffe des Bodens die Salpeterbakterien fast nie. Im Gegen teil wirken die Humusstoffe meist entschieden förderlich. Soweit es sich nicht gerade um saures Moor handelt, steigt und fällt im allgemeinen die nitrifizierende Kraft der Erde mit deren Humusgehalt. Daß An wesenheit von Säuren sehr schädlich wirken muß, ist ohne weiteres verständlich, wenn man berücksichtigt, daß stets genügende Mengen Karbonate von Kalk, Magnesium usw. im Substrat vorhanden sein müssen, um die gebildete salpetrige und Salpeter-Säure sofort zu binden.

In Stalldünger und Jauche ist allerdings der Gehalt an löslichen organischen Stoffen und an freiem Ammoniak bezw. an dem leicht zerfallenden Ammonkarbonat oft so hoch, daß die Salpeterbildung ganz unterdrückt oder doch in verhältnismäßig engen Grenzen gehalten wird. Das ist indessen, wie wir später sehen werden, nur von Vorteil.

Von Zeit zu Zeit erscheinen zwar immer wieder Arbeiten, in denen von einer angeblichen Nitrifikation in Milch, Bouillon usw., bezw. von der Isolierung von auf Fleisch-Nährböden wachsenden Salpeter-Bakterien die Rede ist. Alle diese Angaben haben sich bisher als Irrtümer erwiesen, veranlaßt durch die kleinen Nitritmengen, die in der Laboratoriums-Luft stets vorhanden sind und die von hier aus in die Nährsubstrate gelangen. Indessen soll damit durchaus nicht gesagt sein, daß

¹⁾ Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 5, 1899, S. 388.

²⁾ Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 13, 1904, S. 706.

weitere Forschungen auf diesem Gebiete von vornherein aussichtslos sein müßten. Nur vor unvorsichtigem Experimentieren und kritikloser Urteilsbildung will ich gewarnt haben.

Zum Schluß sei noch kurz darauf hingewiesen, daß besonders in der deutschen agrikulturchemischen Literatur zwei Angaben in bezug auf den Verlauf der Nitrifikation immer wiederkehren, trotzdem beide nie bewiesen, wohl aber wiederholt als unrichtig erwiesen worden sind. Es sollen bei der Salpeterbildung entweder ca. 10% des Stickstoffs in elementarer Form abgespalten oder es soll diese Stickstoff-Menge von den Salpeterbakterien zum Aufbau ihrer eigenen Körpersubstanz verwendet, also assimiliert werden. Wir wissen bereits, daß die Entwicklung der Salpeterbakterien auch in sehr wirksamen Kulturen so gering ist, daß mit bloßem Auge kaum irgend etwas von einer Organismen-Entwicklung zu sehen ist. In der Tat haben genaue Untersuchungen ergeben, daß höchstens 1, niemals aber 10% des Stickstoffs von den Salpeterbakterien assimiliert werden. Daß andere Ammon oder Nitrat assimilierende Organismen unter Umständen die Nitrifikation beeinträchtigen können, werden wir noch sehen. Mit der Salpeter-Bildung an sich hat das aber nichts zu tun. Und ebenso können natürlich mitunter denitrifizierende Bakterien zu Stickstoff-Verlusten Veranlassung geben. Das ist aber auch etwas ganz anderes. Mit der Nitrifikation selbst kann eine Entbindung von Stickstoff nur dann verknüpft sein, wenn ungünstige Einflüsse den Prozeß hemmen und nach Anhäufung einer größeren Menge von Ammon-Nitrit ein teilweiser Zerfall dieses Körpers Platz greift ($\text{NH}_4\text{NO}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2$). Normalerweise verläuft dagegen die Salpeterbildung verlust- und restlos. Einige zahlenmäßige Belege hierfür werde ich in der 24. Vorlesung bringen.



1. Bakterien-Wachstum und Ammoniak-Bildung in Harnstoff-Bouillon. in Pepton-Bouillon.



2. Ammon- und Nitrat-Umsetzung

in mit Erde geimpftem Erd-Extrakt + 0,05 % Di-Kaliumphosphat
 + 0,1% Ammonsulfat + Kreide: + 0,1% Nitrat: + 0,1% Nitrat + 1% Natriumcitrat:

MyoU

Mr

La
Avi
Nel
sul
sus
var
Nin
Per
keit

MP
tel
Een
Drei
ahl
Fer
We
Xe
Lu
Nin
gol

top
in
dep
M
in
st
du

11. Vorlesung.

Der Kreislauf des Stickstoffs (Schluß): Nitrat-Reduktion. Amid-, Ammon- und Nitrat-Assimilation. Verluste und Gewinne an gebundenem Stickstoff.

Nitrat-Reduktion. In der voraufgegangenen Vorlesung wies ich u. a. darauf hin, daß zur Salpeter-Bildung nur eine relativ eng umgrenzte Bakterien-Gruppe befähigt ist. Mit dem entgegengesetzten, rückläufigen Prozeß, also mit der Nitrat-Reduktion, verhält es sich anders. Sehr viele Bakterien und Pilze sind imstande, diesen Prozeß auszulösen. Manche reduzieren das Nitrat nur bis zu Nitrit, andere nur das Nitrit zu Ammoniak, viele aber führen die Umwandlung vom Nitrat bis zum Ammoniak durch. Oft zeigen die Varietäten ein und derselben Art ein abweichendes Verhalten, und die betreffenden Fähigkeiten sind wenig konstant.

Im Boden und zwar speziell in Moor-Boden können leicht oxydierbare Substanzen, in erster Linie Humusstoffe an der Nitrat-Reduktion teilnehmen, bzw. statt der etwa fehlenden Nitrat reduzierenden Mikroben diese Umsetzung bewirken. Aber auch soweit Mikroben in Tätigkeit treten, ist durchaus nicht immer deren Sauerstoff-Bedürfnis die Veranlassung zur Reduktion. Oft sind es nur leicht oxydable Stoffwechselprodukte (vor allem der in vielen Fällen in Freiheit gesetzte Wasserstoff), die den Sauerstoff aus jenen Verbindungen an sich reißen. Namentlich die Reduktion des Nitrats zu Nitrit kommt auch bei vollem Luftzutritt zustande. Dagegen nimmt allerdings die Umwandlung des Nitrits in Ammoniak in der Regel nur unter mehr oder minder weitgehendem Luftabschluß einen größeren Umfang an.

Im Boden spielt die Nitrat-Reduktion im allgemeinen — abgesehen vom Moor und Sumpf — keine erhebliche Rolle; und selbst wenn einmal in zeitweise stark durchnäßtem Lande eine teilweise Rückverwandlung des Salpeters in Ammoniak eintritt, so hat das nicht allzu viel auf sich. Stickstoff-Verluste treten dabei nicht ein, und das entstehende Ammoniak unterliegt, sobald die normale Durchlüftung des Bodens wieder hergestellt ist, von neuem der Nitrifikation. — Für die Käserei ist die Nitrat-Reduktion insofern von Wichtigkeit, als sie es möglich macht, durch einen

Zusatz von Salpeter die Blähung im jungen Käse zu verhindern. In der 5. Vorlesung wies ich bereits kurz auf diesen Kunstgriff der Käserei-Praxis hin; in der 20. Vorlesung werde ich etwas eingehender darauf zurückkommen.

Amid-, Ammon- und Nitrat-Assimilation. Von größerer Bedeutung als die Nitrat-Reduktion ist die Assimilation des Amid-, des Ammon- und des Nitrat-Stickstoffs. Wie wir wissen, geht die Umwandlung des organischen Stickstoffs in Ammoniak umso rascher und vollständiger von statthaft, je geringer der Nährwert der betreffenden Substanzen ist, insbesondere je weniger gute Kohlenstoff-Quellen zur Verfügung stehen. Für den normalen Verlauf der Nitrifikation sind diese nicht nur vollständig entbehrlich, sondern sogar, sofern sie in großen Mengen vorhanden sind, von Nachteil. Auf die komplizierten Mikroben-Gemische, mit denen wir es fast immer zu tun haben, wirken Quantität und Qualität der vorhandenen Kohlenstoff-haltigen Substanzen derart elektiv ein, daß sie die Nitrat-, Ammon- und Amid-Assimilanten umso mehr hervortreten lassen, in je größerer Menge und in je leichter aufnehmbarer Form sie zugegen sind. Eine relativ wenig gute Stickstoff-Quelle kann nur ausgenutzt werden, wenn gleichzeitig eine gute Kohlenstoff-Quelle zur Verfügung steht (vgl. S. 59, Tafel IV). Eben weil an diesen in Milch, Käse, Dünger usw. Überfluß herrscht, kommt es hier fast nie zu einem weitgehenden Stickstoff-Abbau. Die an löslichen Kohlenstoffverbindungen arme Ackererde ist dagegen die bevorzugte Stätte der Nitrifikation. Der mineralisierte Stickstoff häuft sich im Boden an und steht den grünen Gewächsen zur Verfügung. Diese bauen ihn wieder zu Amiden und Eiweiß auf unter Verwendung der großen, bei der Assimilation der Kohlensäure gebildeten Mengen von Kohlenhydraten. Zahlreiche Bakterien und Pilze wirken in derselben Richtung, sobald ihnen die nötigen organischen Kohlenstoff-Verbindungen, die sie nicht selbst aufbauen können, zur Verfügung gestellt werden. Im Boden wird der Harnstoff glatt zu Ammoniak abgebaut; im lagernden Stalldünger wird der Harn-Stickstoff oft zu 30—40, mitunter auch zu 70% von allerhand Mikroben assimiliert. Bringt man frischen, nicht gerotteten Stalldünger kurz vor der Saat in den Boden, so ist sehr oft in der nachfolgenden Ernte nicht nur keine Wirkung des zugeführten Stickstoffs wahrzunehmen, vielmehr ist oft eine ausgesprochene Depression der Stickstofferträge zu konstatieren. Besonders schädlich wirken solche Düngersorten, die nur aus festen Exkrementen und Streustroh bestehen. Die großen Mengen von Kohlenstoff-Verbindungen, die wir mit derartigem Material dem Acker einverleiben, setzen die zur Ammon- und Nitrat-Assimilation befähigten Mikroorganismen in den Stand, den „Kampf um den Stickstoff“ mit den höheren Pflanzen aufzunehmen und erfolgreich durchzuführen.

Amid-, Ammon- und Nitrat-Assimilation sind aërobe Prozesse. Der Amid-Stickstoff wird im allgemeinen etwas leichter assimiliert als der Ammon-Stickstoff, und dieser etwas leichter als der Nitrat-Stickstoff. Eine nennenswerte Festlegung des Salpeter-Stickstoffs ist nur in dem soeben besprochenen Falle wahrzunehmen. Dagegen wird ein kleinerer oder größerer Anteil des Ammonstickstoffs meist auch dann in organische Form verwandelt, wenn keine besondere Anreicherung des Bodens an löslichen organischen Stoffen voraufgegangen ist. Für das richtige Verständnis der oft ungleichen Wirkung von Ammoniak und Salpeter bei der Düngung ist dieser Punkt von wesentlicher Bedeutung. Die Ammon-Assimilation stellt gewissermaßen das biologische Gegenstück zu der auf physikalisch-chemischem Wege erfolgenden Ammoniak-Absorption dar. Wie diese wirkt sie teils nützlich teils nachteilig. Besonders in leichten, an absorbierenden Substanzen armen Böden kann sie recht deutlich hervortreten.

Es ist mehrfach die Ansicht geäußert worden, daß die Ammon-Assimilation vorwiegend durch Schimmelpilze, die Nitrat-Assimilation fast nur durch Bakterien bewirkt werde. So generell gefaßt, ist dieser Satz jedoch nicht richtig. Neben der jeweils vorhandenen Mikroflora sind die Art der verfügbaren Kohlenstoffverbindungen sowie die Reaktion des Substrates von ausschlaggebender Bedeutung.

Sehr eingehende Untersuchungen hat ST. BIEREMA den hier vorliegenden Fragen gewidmet¹⁾. Dabei ergab sich u. a., daß Ammonkarbonat ausnahmslos nur Bakterienentwicklung aufkommen ließ. Bei den organischen Ammonsalzen, aber auch bei Natriumnitrat, traten Schimmelpilze dann in den Vordergrund, wenn der leicht säuernde Traubenzucker zugegen war. Ammonsulfat und Ammonchlorid begünstigen an sich das Schimmelpilzwachstum mehr, weil sie „physiologisch saure“ Salze sind, d. h. die bei der Assimilation zurückbleibende Schwefel- bzw. Salzsäure das Auftreten einer sauren Reaktion im Substrat bedingt. Doch können auch hier manche Kohlenstoffquellen dahin wirken, daß ammonassimilierende Bakterien das Feld allein oder doch größtenteils beherrschen. Der auf Tafel IV in der unteren Reihe abgebildete, mit Ammonsulfat-Glyzerin-Lösung beschickte Kolben zeigt auch neben viel die ganze Flüssigkeit erfüllenden Bakterien nur ein paar, erst nachträglich entstandene obenauf schwimmende Schimmelpilz-Kolonien.

Diese Fragen sind deshalb von ziemlich großer Bedeutung, weil die Schnelligkeit, mit der die assimilierten Stickstoffmengen nachträglich wieder ammonifiziert und nitrifiziert, also den Nutzpflanzen wieder zugänglich gemacht werden, natürlich von der leichteren oder schwierigeren Zersetzlichkeit der Pilz- und Bakterienmassen abhängig ist.

Z. B. wurden 20—40% des assimilierten Stickstoffs dann nitrifiziert, wenn Bakterien- oder junge (sporenfreie) Pilzmassen in Erde verteilt wurden. Dagegen ging

¹⁾ Die Assimilation von Ammon-, Nitrat- und Amid-Stickstoff durch Mikroorganismen. Diss. phil. Leipzig 1909. Gekürzter Abdruck im Centralbl. f. Bakt. II. Abt. Bd. 23, 1909, S. 672.

der Stickstoff sporenreicher Schimmelwucherungen unter gleichen Bedingungen nur zu 4—8% in Salpeter über¹⁾.

Für den Landwirt sind diese Erscheinungen selbstverständlich viel unwillkommener als eine vorübergehende Nitrat-Reduktion. Denn der nun von neuem notwendig werdende Abbau eiweißartiger Substanzen zeigt ja nur allzu oft einen unregelmäßigen und unvollständigen Verlauf. Die Nitrat- und Ammon-Assimilation ist also mit einer Entwertung der im Boden befindlichen Stickstoff-Vorräte gleichbedeutend, die nach Möglichkeit vermieden werden muß.

Stickstoff-Verluste. Eine Entbindung elementaren Stickstoffs kann auf rein chemischem Wege dadurch zustande kommen, daß manche Amide sowie das Ammoniak mit der freien salpetrigen Säure derart reagieren, daß die Substanzen zu Stickstoff und Wasser zerfallen:



Im lagernden Dünger spielen diese Umsetzungsmöglichkeiten vielleicht eine Rolle, im Boden dagegen wohl kaum. Wenn die Nitrifikation einmal eingesetzt hat, pflegt sie fast immer, und besonders in der Erde, sehr rasch bis zum Nitrat fortzuschreiten. Freie salpetrige Säure kommt auch im Stalldünger allem Anscheine nach nur ausnahmsweise in größeren Mengen zur Entstehung. Wir werden demnach nicht fehl gehen, wenn wir dieser Verlust-Möglichkeit keine oder doch jedenfalls nur eine untergeordnete Bedeutung beimessen.

Daß im Experiment der Zerfall des Ammonnitrits eine Rolle spielen kann, und dieser Vorgang zur Aufstellung der Hypothese von angeblich stets mit der Nitrifikation verknüpften Stickstoffverlusten verleitet hat, erwähnte ich bereits. Auch im Boden wären solche Vorkommnisse möglich, wenn durch abnorm große Ammonsalz-Gaben die Salpeterbildung gehemmt würde. TH. SCHLÖSING zeigte, daß 4—8% des Stickstoffs dann in elementarer Form in Verlust gerieten, wenn an Ammon-Stickstoff der Erde Quantitäten zugesetzt wurden, die auf das Hektar berechnet 4000—7000 kg, also etwa das 100fache einer normalen Ammonsalz-Düngung ausmachten²⁾. Abgesehen etwa von Rieselfeldern u. dgl. entfallen auf Ammon- und Nitrit-Stickstoff fast ausnahmslos nur verschwindend geringe Bruchteile des in anorganischer Form im Boden vorhandenen Stickstoffs.

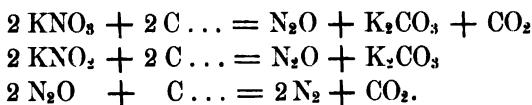
Daß auch durch Mikroorganismen sowohl aus organischen Stickstoff-Verbindungen (speziell aus Amiden) wie aus Ammoniak Stickstoff in Freiheit gesetzt werden kann, ist zwar sehr wahrscheinlich, aber — bisher wenigstens — noch nicht einwandfrei erwiesen. Diese Lücke in unseren Kenntnissen ist umso bedauerlicher, als es sich hier um äußerst wichtige Dinge handelt. Auch bei ordnungsmäßiger Lagerung des Stalldüngers machen sich sehr große Stickstoffverluste bemerkbar. Allein in Deutschland sind sie auf einige Hundert Millionen Mark pro Jahr zu veranschlagen. Und sie müssen, wenn auch nicht aus-

¹⁾ BIEREMA, a. a. O.

²⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris T. 109, 1889, p. 884.

schließlich, so doch zu einem erheblichen Teile auf derartige Prozesse zurückgeführt werden. Allerhand gelegentliche Beobachtungen in dieser Richtung liegen zwar vor. Aber sie bieten sämtlich nicht jene sicheren Anhaltspunkte, die wir brauchen. Hoffentlich lassen eingehende spezielle Untersuchungen nicht mehr allzu lange auf sich warten. Wie es scheint, nehmen jene Umsetzungen nur bei Luftzutritt größere Dimensionen an. Die Konservierung des Stallmist-Stickstoffs durch Luftabschluß steht jedenfalls z. T. hiermit im Zusammenhange.

Die einzige, bis jetzt genauer erforschte Möglichkeit, die eventuell zu Stickstoff-Verlusten Veranlassung geben kann, ist die Denitrifikation, d. h. die unter Abspaltung elementaren Stickstoffs erfolgende Salpeter-Zersetzung. Wie bei der Nitrat-Reduktion können entweder die Bakterien bzw. deren Enzyme diese Zerlegung bewirken. Man spricht in diesem Falle von „direkter Denitrifikation“. Oder durch Wasserstoff und andere leicht oxydable Stoffwechselprodukte der Bakterien wird dem Salpeter der Sauerstoff zu einem mehr oder minder großen Teile entzogen. Es ist dies die sogen. „indirekte Denitrifikation“. Bei der direkten Denitrifikation entweicht der Stickstoff ausschließlich oder doch zum größten Teile in elementarer Form. Die indirekte Denitrifikation gibt fast immer Veranlassung zum Auftreten ansehnlicher Mengen von Stickoxyd und Stickoxydul. Natürlich treten beide Prozesse nicht selten vereint in die Erscheinung. Während aber die indirekte Denitrifikation für das Leben der Bakterien ohne Bedeutung ist, ermöglicht die direkte Denitrifikation den hierzu befähigten Arten eine anaerobe Existenz, zu der diese an sich aëroben Organismen andernfalls nicht befähigt wären. Mit Hilfe des aus Nitrat, Nitrit und Stickoxydul entnommenen Sauerstoffs nimmt die Veratmung der kohlenstoffhaltigen Substanzen (Kohlenhydrate, Alkohole, organischen Säuren usw.) auch unter Luftabschluß ihren regulären Fortgang:



Oft, aber nicht immer können Nitrit und Stickoxydul als Zwischenprodukte nachgewiesen werden.

Eine große Zahl angeblich oder wirklich verschiedener Arten von Denitrifikanten ist aufgestellt und z. T. beschrieben worden. Viele sind entweder Varietäten einer Art oder vollkommen identisch. Die wichtigsten Denitrifikanten sind das *Bact. denitrificans* LEHM. et NEUM. (eine lange Reihe anderer Autoren haben ebenfalls ein oder mehrere „*Bact. denitrificans*“ aufgestellt), ferner das *Bact. Stutzeri*, sowie manche (nicht alle) Stämme des *Bact. radiobacter*, *fluorescens* und *putidum*. Die Befähigung zur Auslösung der Denitrifikation ist meist sehr wenig konstant. Namentlich bei längere Zeit fortgesetzter Kultur auf nitratfreiem Substrat und bei reichlicher Lüftung pflegt sich diese Eigenschaft recht bald zu verlieren.

Ist neben Nitrat keine andere Stickstoffquelle im Substrat vorhanden, so muß gleichzeitig Nitrat-Assimilation stattfinden. Bei reichlicher Lüftung ist diese fast oder völlig allein wahrnehmbar. Bei fortschreitender Verstärkung der Aërobiose bezw. der Anaërobiose kann man alle Übergänge erhalten von der reinen Salpeter-Assimilation bis zur fast reinen Denitrifikation. In jenem Falle gerät kein, in diesem vielleicht 95—98 % des vorhandenen Stickstoffs in Verlust.

Auf Tafel VII sind an 2. Stelle vier Gefäße abgebildet, die gleiche Mengen einer aus Erdextrakt unter Zusatz von etwas Kaliphosphat bereiteten Nährlösung enthalten, und die sämtlich mit Erde geimpft wurden. Der eine (links stehende) Kolben enthält als Stickstoffquelle Ammonsulfat, als Kohlenstoffquelle nur Kalziumkarbonat. Es tritt infolgedessen Nitrifikation ein, von der, wie wir wissen, mit bloßem Auge nichts wahrzunehmen ist. Im nächsten Standzylinder befindet sich eine Nitrat-Lösung, die keinen weiteren Zusatz erhielt. Es tritt (wegen Mangels an einer geeigneten Kohlenstoffquelle) keine Umsetzung ein (vgl. Tafel IV). Die beiden rechts stehenden Gefäße unterscheiden sich voneinander nur dadurch, daß im Kolben die Lösung sich in flacher Schicht, im Standzylinder dagegen in hoher Schicht befindet. Da hier neben dem Nitrat auch eine geeignete organische Kohlenstoffquelle zugegen ist, kam es in jedem Falle zu einer lebhaften Umsetzung des Nitrats. In Bestätigung der bisherigen Darlegungen sehen wir die gut durchlüftete flache Schicht bedeckt und erfüllt von Massen Nitrat assimilierender Bakterien, während die in hoher Schicht befindliche Flüssigkeit eine dicke Schaumdecke trägt, gebildet von den bei der Denitrifikation entweichenden Gasen.

Stets müssen also vor allem drei Bedingungen erfüllt sein, wenn es zur Denitrifikation kommen soll: 1. Anwesenheit von Salpeter, 2. Anwesenheit von größeren Mengen organischen Kohlenstoffs und 3. Abwesenheit des Luftsauerstoffs. Daß es auch nicht an Feuchtigkeit, der nötigen Wärme usw. fehlen darf, brauche ich nicht besonders zu betonen.

Allerdings ist auch bei Abwesenheit organischen Kohlenstoffs eine Denitrifikation möglich, die uns aber hier nicht interessiert. An Stelle des Kohlenstoffs tritt elementarer Schwefel. In der 13. Vorlesung komme ich noch kurz auf diesen Vorgang zu sprechen.

Daß die Denitrifikation normalerweise weder im lagernden Stalldünger noch in der Ackererde größeren Umfang annehmen kann, folgt aus diesen Darlegungen ohne weiteres. Im Dünger fehlt es an Salpeter. In der Ackererde macht der Luftzutritt die Denitrifikation auch dann fast oder vollkommen unmöglich, wenn ausreichende Mengen löslicher organischer Substanzen vorhanden sein sollten. Es würde in diesem Falle nur zur Nitrat-Assimilation kommen. Ist der Boden mit

Wasser vollkommen gesättigt, und infolgedessen die Luft fast vollständig verdrängt, dann kann allerdings Denitrifikation eintreten. Aber das sind seltene Ausnahmefälle.

Bereits im Jahre 1882 war dieser Sachverhalt durch die Bemühungen französischer und englischer Forscher einwandfrei geklärt. Etwa 15 Jahre später wurde er aber von neuem von deutschen Agrikulturchemikern unter der Führung P. WAGNERS sehr zum Schaden der deutschen Landwirtschafts-Wissenschaft vollständig verwirrt. Sogar heute noch erscheinen von Zeit zu Zeit Arbeiten, in denen die praktische Bedeutung dieser Fragen entschieden überschätzt wird. In der 25. Vorlesung werde ich noch ein paar Worte hierüber zu sagen haben.

Stickstoff-Bindung. Ob eine Bindung des elementaren Stickstoffs — wie mittels physikalisch-chemischer Methoden, so auch durch Mikroorganismen — derart möglich ist, daß Salpeter, Ammoniak oder Amid entsteht, ist einstweilen noch ungewiß. Dagegen steht es fest, daß zahlreiche Bakterien und Pilze den elementaren Stickstoff assimilieren und auf diesem Wege ihren Stickstoff-Bedarf decken können. Stets vermögen sie sich allerdings auch, und in der Regel besser, vom gebundenen Stickstoff zu ernähren. Fehlt es aber hieran, so tritt, wenn gute Kohlenstoff-Quellen zur Verfügung stehen, Stickstoff-Bindung ein, die sowohl aërob wie anaërob verlaufen kann. Am auffallendsten und demgemäß am längsten bekannt ist die Assimilation des Luftstickstoffs durch die in den Wurzelknöllchen der Leguminosen lebenden Bakterien. Mit ihr wollen wir uns zunächst etwas näher bekannt machen. Weiter werde ich einige ähnliche Bakterien- und Pilz-Symbiosen vorzuführen haben, die neuerdings bei anderen Gewächsen entdeckt worden sind. Und schließlich haben wir uns mit den frei im Boden lebenden Stickstoff bindenden Mikroben zu beschäftigen, deren Bedeutung in den letzten Jahren so vielfach der Gegenstand lebhafter Diskussionen gewesen ist.

Bereits seit sehr langer Zeit sind die Leguminosen von den Landwirten als „bodenbereichernde“ Pflanzen angesehen und gewürdigt worden. In der ersten Vorlesung wies ich darauf hin, daß schon in den fast 2000 Jahre alten Werken römischer Schriftsteller ganz richtige Anschauungen in dieser Richtung zu finden sind. Und noch weit früher scheint es im fernen Osten (in China und Japan) üblich gewesen zu sein, schmetterlingsblütige Gewächse zur Gründung anzubauen¹⁾. In Deutschland empfahl bereits in der Mitte des 18. Jahrhunderts der große Preußenkönig Friedrich II. zu diesem Zwecke Lupinen

¹⁾ KING, Farmers of forty centuries.

anzusäen¹⁾). Aber erst im 19. Jahrhundert fand dieser Ratschlag, vor allem dank dem Eintreten von W. KETTE und SCHULTZ-Lupitz, die gebührende Beachtung. Weite Strecken einst unfruchtbaren Sandes sind durch diese Maßnahmen der Kultur erschlossen worden.

Daß die „bodenbereichernde“ Wirkung der Leguminosen auf der Bindung des Luftstickstoffs beruht, hat BOUSSINGAULT im Jahre 1838 nachgewiesen²⁾). Sowohl in wissenschaftlichen Kreisen wie bei den praktischen Landwirten fand diese Deutung jener bis dahin unerklärlichen Tatsache rasch Verbreitung und Anerkennung. BOUSSINGAULT selbst glaubte indessen später wieder seinen Standespunkt ändern zu müssen. Es gelang nämlich weder ihm noch anderen Experimentatoren dann eine Stickstoff-Bindung zu konstatieren, wenn die Versuche unter Anwendung besonders weitgehender Vorsichtsmaßregeln durchgeführt wurden. Man begnügte sich nicht damit, die Luft, die mit den Pflanzen in Berührung kam, von allen etwa beigemengten Stickstoff-Verbindungen sorgfältig zu befreien. Um möglichst „exakt“ zu arbeiten, glühte man auch die Erde vorher aus und bedeckte ihre Oberfläche womöglich gar noch mit einer dicken Wachs-Schicht. Und doch hatte BOUSSINGAULT selbst schon bei seinen ersten Versuchen gesehen, daß sich Klee in geglühtem Boden nur dann gut entwickelte, wenn er eingepflanzt, nicht aber, wenn er ausgesät wurde. Ebenso betonte ROY bereits im Jahre 1851, daß der Stickstoff nicht durch die Blätter, sondern durch die Wurzeln aufgenommen werde. Zehn Jahre später zeigte BRETSCHNEIDER von neuem, daß lediglich das Glühen des Bodens die Stickstoff-Bindung unmöglich macht, nachdem bereits 1858 LACHMANN erkannt hatte, daß die Wurzelknöllchen, die schon damals von den Landwirten mit der Stickstoff-Bindung in Zusammenhang gebracht wurden, infolge des Eindringens beweglicher Bakterien entstehen, denen sie weiterhin zum Aufenthalt dienen. 1864 stellten RAUTENBERG und GUSTAV KÜHN fest, daß Bohnen bei Wasser-Kulturversuchen eine besonders reichliche Ausbildung ihrer Wurzelknöllchen in stickstofffreier Lösung erkennen ließen. Nicht wenige Autoren, wie J. LEHMANN, WEIN, BERTHELOT u. a. sprachen sich im Laufe der siebziger Jahre des vorigen Jahrhunderts immer wieder für das Vorhandensein einer Stickstoff-Bindung durch die Leguminosen aus. Und im Jahre 1879 wurde durch A. B. FRANK der sichere Nachweis erbracht, daß die Wurzelknöllchen tatsächlich infolge des Eindringens von Mikroorganismen entstehen.

¹⁾ STADELMANN, Friedrich der Große in seiner Tätigkeit für den Landbau Preußens.

²⁾ Die ausführlichen Literatur-Angaben zu dieser historischen Skizze sowie weitere Einzelheiten finden sich in meinem Handbuch der landw. Bakteriologie, 1910, S. 646 bis 650.

Im Jahre 1880 standen demnach folgende drei wichtige Tatsachen fest:

1. Nur im nicht erhitzten, nicht dagegen im erhitzten Boden erweisen sich die Leguminosen befähigt, den Luft-Stickstoff zu assimilieren.
2. Im nicht erhitzten Boden lebende Mikroben dringen in die Wurzeln ein und veranlassen die den Leguminosen eigentümlichen Wurzelknöllchen.
3. Die Ausbildung dieser Knöllchen ist im stickstofffreien Substrat am stärksten; sie scheinen die Stätte der Stickstoff-Bindung zu sein.

Leider blieben diese Tatsachen in Deutschland fast ganz unbeachtet. Als dann im Jahre 1881 SCHULTZ-Lupitz auf Grund seiner praktischen Erfahrungen abermals nachdrücklich betonte, daß die Leguminosen als „Stickstoff-Sammler“ eine besonders wichtige Ausnahmestellung unter unseren Kulturgewächsen einnehmen, da fand diese Angabe in den zunächst beteiligten Kreisen nicht etwa (als willkommene Bestätigung jener älteren Befunde) eine verständnisvolle Aufnahme; sie stieß vielmehr auf heftigen Widerspruch. In der französischen, englischen und amerikanischen Literatur erschienen zahlreiche zustimmende Äußerungen. In Deutschland aber stellten es sich die „Autoritäten“ — in erster Linie DRECHSLER und BLOMEYER — zur Aufgabe, SCHULTZ-Lupitz durch allerhand, auf den ersten Blick äußerst gelehrt ausschendende Berechnungen und Erwägungen „gründlich“ zu widerlegen.

Glücklicherweise war jedoch ein deutscher Agrikulturchemiker, HERMANN HELLRIEGEL, vorurteilsfrei genug, sich, sobald er erkannte, daß es sich hier um bakteriologische Probleme handelte, einer eingehenden bakteriologischen Prüfung dieser Fragen zuzuwenden. Die von ihm in Gemeinschaft mit WILFARTH durchgeführten Sterilisations- und Impfversuche erwiesen mit Sicherheit, daß es die infolge des Eindringens von Bakterien entstehenden Wurzelknöllchen sind, welche die Leguminosen in den Stand setzen, im stickstofffreien Sande unter Verwertung des Luft-Stickstoffes üppig zu gedeihen. Sowohl jene älteren Beobachtungen wie die praktisch bedeutungsvollen Mitteilungen von SCHULTZ-Lupitz fanden durch diese Untersuchungen eine glänzende Bestätigung und überzeugende Begründung.

Gleichwohl blieben auch diese Veröffentlichungen von ungerechtfertigter Kritik nicht verschont. BLOMEYER schrieb¹⁾: Diese Theorie „mag diejenigen, die gern auf hochwissenschaftlichem Kothurn einher-

¹⁾ Kultur der Nutzpflanzen, Bd. I, 1889, S. 318.

gehen und das Wunderbare vor allem lieben, begeistern; für uns mehr skeptisch . . . angelegte Menschen dürfte indessen eine, wenn auch geringe Spur eines wirklichen Beweises mehr Reiz haben als diese in der Luft schwebende Hypothese“. Nach der Ansicht anderer Autoren sollten die Blätter, eventuell auch spezielle, haarartige Organe — Albumin-Generatoren“ — nicht nur die Leguminosen, sondern angeblich alle grünen Gewächse in den Stand setzen, sich den atmosphärischen Stickstoff zunutze zu machen. Die Bakterien sollten allenfalls durch den von ihnen ausgeübten Reiz von einiger Bedeutung sein. Es lohnt indessen nicht, bei diesen, meist sehr mangelhaft gestützten Behauptungen länger zu verweilen.

Ihre volle Aufklärung fanden die hier in Frage kommenden Gesichtspunkte durch einige 1888—1891 erschienene Arbeiten M. W. BELJERINCKS. Die Knöllchenbakterien wurden in Reinkultur gezüchtet, mit positivem Erfolg zur Impfung, bezw. zur Erzeugung von Wurzelknöllchen benutzt und außerdem ihre Fähigung zur Stickstoff-Bindung erwiesen. Zwar waren die von BELJERINCK erzielten Stickstoff-Gewinne nicht sehr groß, und einigen späteren Autoren gelang es überhaupt nicht, eine Zunahme an Stickstoff in den Kulturen von Knöllchenbakterien nachzuweisen. Indessen sind diese negativen Befunde — denen zahlreiche positive gegenüber stehen — lediglich auf ungeeignete Kultur-Bedingungen zurückzuführen. Es ist ein Irrtum, wenn die betreffende Eigenschaft der Leguminosen-Bakterien auch heute noch mitunter als nicht erwiesen hingestellt wird. Benutzt man geeignete Nährsubstrate und kräftig wachsende Kulturen, so kann man recht ansehnliche Stickstoff-Gewinne erzielen, die weit außerhalb der für derartige Versuche geltenden Fehlergrenzen liegen. Z. B. darf man bei Versuchen in mit etwas Kaliphosphat versetztem Erdextrakt auf Stickstoff-Zunahmen um 2—3 mg pro Gramm Zucker rechnen, wenn von diesem je 1 g auf 100 ccm Lösung Verwendung findet. Dagegen steigen die Gewinne auf 6 mg und mehr (pro g Zucker), wenn die Zuckergabe auf 0,3 % und weniger herabgesetzt wird.

Auf das Eindringen der Bakterien in die Wurzeln, auf die Entstehung der Knöllchen sowie auf die Leistungen der Bakterien in der Pflanze komme ich in der 25. Vorlesung zu sprechen. Hier will ich zunächst nur noch einiges über die Stellung der Knöllchenbakterien im System sagen. BELJERINCK nannte die Knöllchenbakterien *Bacillus radicicola*. Da sie keine Sporen bilden, werden sie aber jetzt meist als *Bacterium radicicola* bezeichnet.

Unrichtig ist die (besonders in der amerikanischen Literatur oft benutzte) Benennung *Pseudomonas radicicola*. Die Begeißelung ist nicht, — wie es für *Pseudomonas* charakteristisch ist — polar, sondern peritrich (vgl. Taf. II, Fig. 7).

Wie wir wissen, sind gerade bei diesen Organismen Verzweigungen recht häufig. Man hat denn auch vielfach geglaubt, den Knöllchenbakterien — als *Rhizobium*, *Mycobacterium* oder unter irgend einem anderen besonderen Genus-Namen — eine besondere Stellung, abseits von den anderen Bakterien einräumen zu müssen. Das hat sich indessen bei näherem Zusehen als unzutreffend herausgestellt. Daß der Verzweigung nach unseren gegenwärtigen Kenntnissen nur ein sehr geringer Wert als systematisches Merkmal beigemessen werden kann, habe ich in der 2. Vorlesung auseinandergesetzt. Die Knöllchenbakterien sind sicher sowohl mit weit verbreiteten Bodenbakterien, besonders mit einer *Bact. radiobacter* benannten Art, die nach dem *Bact. coli* hin vermittelt, wie mit gewissen Milchbakterien nahe verwandt¹⁾.

Die echte Bakterien-Natur der Knöllchen-Erreger ist heute außer Frage. Dagegen sind die Meinungen noch geteilt, ob man es bei den verschiedenen Leguminosen mit differenten Arten oder nur mit verschiedenen Rassen einer Art, eben des *Bact. radicicola*, zu tun habe. Unterschiede sind zweifellos vorhanden; aber sie sind verhältnismäßig gering. Und so darf man jedenfalls mit einem Recht bezweifeln, ob sie zur Aufstellung mehrerer Arten ausreichend sind. Praktisch wichtig ist die Tatsache, daß eine bestimmte Knöllchenbakterien-Kultur meist nur wieder bei derjenigen Leguminosenart leicht und reichlich Knöllchen erzeugt, von der sie stammt. Sofern man also die vorhandenen Differenzen nicht zur Aufstellung mehrerer Arten als ausreichend erachtet, hat man doch jedenfalls mit einer größeren Zahl von Rassen oder „Anpassungs-Formen“ zu rechnen. In der 25. Vorlesung werde ich auf diesen Punkt zurückkommen.

Bei einigen anderen Pflanzengruppen spielen ebenfalls Bakterien- oder Pilz-Symbiosen mit Rücksicht auf die Verwertung des Luft-Stickstoffs eine wichtige Rolle. Meist sind es ausdauernde, strauch- oder baumartige Gewächse, die zwar nicht als landwirtschaftliche Nutzpflanzen, wohl aber als „Pioniere der Kultur“ durch Anreicherung des noch nicht genutzten Bodens von Bedeutung sind oder doch sein können. Zum Teil sind sie auch für den Forstwirt wichtig.

Manche von ihnen sind im Besitz ähnlicher, wenn auch meist viel mächtiger entwickelter und oft stark verholzter Knöllchen, in denen sich Organismen finden, die dem *Bacterium radicicola* recht nahe zu stehen scheinen.

Man hat diese Mikroben zwar wiederholt für Aktinomyzeten angesprochen; indessen deuten einige neuere Arbeiten darauf hin, daß es sich auch hier um echte, der genannten Art verwandte Bakterien handelt²⁾.

¹⁾ LÖHNIS, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 14, 1905, S. 589—593.

²⁾ W. B. BOTTOMLEY, Proceed. Roy. Soc. London [B] Vol. 81, 1909, p. 287, Vol. 84, 1911, p. 215; K. F. KELLERMAN, U. S. Departm. Agriculture Yearbook f. 1910, p. 213; E. R. SPRATT, Annals of Botany, Vol. 26, 1912, p. 119, 801.

Die betreffenden Pflanzen sind die Erlen (*Alnus*-Arten), die Ölweiden-Gewächse *Elaeagnus* und *Hippophaë*, ferner *Myrica Gale*, die Podocarpineen und die Cycadeen. Für Nord-Amerika treten hinzu¹⁾: einige *Ceanothus*-Arten (aus der Familie der Rhamnaceen) *Lepargyreia canadensis* (eine Elaeagnacee) und *Comptonia peregrina* (eine Myricacee). Die Cycadeen-Knöllchen sind insofern von besonderem Interesse, als außer den Bakterien auch noch blaugrüne Algen (*Nostoc* oder *Anabaena*) fast konstant zugegen sind. In seiner ursprünglichen Bedeutung heißt Symbiose allerdings eheliche Gemeinschaft; aber da soll ja wohl auch eine dritte „symbiotische Komponente“ nicht immer ausgeschlossen sein.

Zweitens können die sogenannten Mykorrhizen²⁾, also jene bei den an humusreichen Standorten wachsenden Laub- und Nadelbäumen, bei Ericaceen usw. weitverbreiteten Pilzwucherungen an und in den Wurzeln, wenigstens in gewissen Fällen als Organe zur Verwertung des Luftstickstoffs funktionieren. Sicherlich sind sie auch in anderen Richtungen für die Wirtspflanze von Nutzen. Die Ausnutzung des Humusstickstoffs sowie die Aufnahme der Nährsalze aus dem Boden darf nicht übersehen werden. Aber außerdem scheint doch auch in diesem Falle die Stickstoffbindung eine größere Rolle zu spielen, als man im allgemeinen bisher angenommen hat³⁾. Namentlich die Bergkiefer (*Pinus montana*) scheint befähigt zu sein, mit Hilfe ihrer Mykorrhizen sich den elementaren Stickstoff ausgiebig zunutze zu machen. Neben den uns bekannten Penicillien sind verschiedene andere Humus- und Wurzel-bewohnende Pilze, *Phoma*-Arten u. a. als recht kräftige Stickstoff-Assimilanten erkannt worden.

Eine dritte, ebenfalls erst neuerdings aufgedeckte Stätte der Stickstoff-Bindung sind eigenartige, durch Bakterien hervorgerufene Knötcchen an den Blättern gewisser tropischer Gewächse⁴⁾. Namentlich bei *Pavetta*-Arten und anderen Rubiaceen haben eingehende Untersuchungen ergeben, daß diese Gebilde gewissermaßen ein Gegenstück zu den Wurzelknöllchen der Leguminosen darstellen. Die in den Blattknoten lebenden Stickstoff assimilierenden Bakterien stehen auch in ihren sonstigen Eigenschaften dem *Bact. radicicola* sehr nahe. Eine Besonderheit ist nur insofern vorhanden, als es sich hier um eine erbliche Symbiose handelt. Die Bakterien finden sich (wenigstens in der Regel) bereits im Samen. Naturgemäß ist die stets notwendige Neu-Infektion der Leguminosen-Wurzeln in dem bakterienreichen Boden fast immer gewährleistet. Bei den in die wenig keimreiche Luft hinausragenden, und von schweren

¹⁾ K. F. KELLERMAN, loc. cit.

²⁾ Abgeleitet von ὁ μύκης = Pilz und ᾧ ριζα = Wurzel.

³⁾ PEKLO, Zeitschrift f. Gärungsphysiologie, Bd. 2, 1913, S. 275.

⁴⁾ F. C. VON FABER, Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 51, 1912, S. 285.

tropischen Regengüssen gründlich abgespülten Blättern wäre es dagegen nicht sehr wahrscheinlich, daß es ohne solche besondere „Vorsorge“ der Pflanze regelmäßig zu einer reichlichen Ausbildung der Bakterienknoten kommen würde. Auch hier ist übrigens die Praxis der Wissenschaft vorausgeileit. *Pavetta indica* ist in Indien schon lange als Gründüngungs-Pflanze benutzt worden.

Neben diesen verschiedenen Möglichkeiten der Nutzbarmachung des Luftstickstoffs durch Symbiosen von höheren Gewächsen und Mikroben haben wir nun aber noch derjenigen Stickstoffbindung zu gedenken, die durch frei im Boden lebende Organismen veranlaßt wird. Ebenfalls schon seit recht langer Zeit war man darauf aufmerksam geworden, daß die Erde auch dort allmählich an gebundenem Stickstoff reicher zu werden pflegt, wo keine „bodenbereichernde“ Pflanzen wachsen. Kahle Felsen, die zunächst nur ganz geringe Spuren gebundenen Stickstoffs enthalten, liefern bei der Verwitterung immer fruchtbarer werdendes Erdreich. Den zuerst erscheinenden Flechten und Moosen folgen Kräuter und Sträucher, und weiterhin Bäume, bis endlich geschlossene Waldbestände auftreten, die ohne jede Düngung durch die Jahrhunderte hindurch gewaltige Mengen stickstoffhaltiger Pflanzenmassen produzieren. Auf nährstoffarmem Sande siedeln sich, sofern genügend Feuchtigkeit vorhanden ist, Algen und Moose an. Mit der Zeit kommt es, wenn die örtlichen Verhältnisse günstig sind, in den entstehenden Mooren zur Anhäufung enormer Stickstoff-Quantitäten. Selbstverständlich dürfen wir nicht darauf vergessen, daß einerseits manche der Bäume und der humusbewohnenden Pflanzen neuerdings ebenfalls als „bodenbereichernd“ erkannt worden sind, und das andererseits der Regen Stickstoff-Verbindungen aus der Luft dem Boden zuführt. Aber meist handelt es sich in diesem Falle doch nur um ziemlich bescheidene Quantitäten; etwa 5—10 kg Stickstoff pro ha. Das ist nur wenig mehr, nicht selten auch weniger, als mit den Sickerwässern in den Untergrund versinkt und durch Abfließen in die Bäche und Ströme dem Lande 'Jahr für Jahr verloren geht. In den wärmeren Gebieten tritt im allgemeinen diese Tendenz der Anreicherung resp. des andauernden Ersatzes der durch die Ernten dem Boden entnommenen Stickstoffes besonders deutlich hervor. Trotz meist sehr spärlicher, oft auch ganz unterlassener Düngung und trotz weitaus vorherrschendem, mitunter sogar ausschließlichem Anbau „stickstoffzehrender“ Gewächse, haben sich z. B. in Indien die Erträge auch dort auf zwar nicht sehr bedeutender, aber doch bemerkenswert konstanter Höhe gehalten, wo diese Art der Bodennutzung schon Jahrhunderte, vielleicht Jahrtausende hindurch betrieben worden ist.

Die Frage nach der Ursache dieses andauernden Wachstumes des Vorrates an gebundenem Stickstoff im Boden bzw. dessen stetigen Ersatzes

ist denn auch schon seit Jahrzehnten in der wissenschaftlichen Literatur erörtert worden. Man hat im Laufe der Zeit die organischen Substanzen, die Oxyde des Eisens und des Mangans, das Ozon, die Luft-Elektrizität, das verdampfende Wasser, und manches andere als das wirkende Agens angesehen. Die meisten dieser Vermutungen vermochten indessen genaueren Prüfungen nicht stand zu halten. Soweit die Stickstoff-Bindung im Boden in Frage kommt, steht jetzt fest, daß wir, wenn nicht als die alleinige, so doch jedenfalls als die wichtigste Ursache auch hier die Tätigkeit Stickstoff assimilierender Mikroben anzusehen haben. Noch bevor HELLRIEGEL seine ersten Mitteilungen über die Stickstoffbindung in den Leguminosen veröffentlichte, wurde von dem berühmten französischen Chemiker MARCELLIN BERTHELOT — im Jahre 1885 — auf diese Tatsache hingewiesen.

Übrigens finden sich auch schon aus den sechziger und siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts einige (allerdings nicht sehr sichere) Angaben über Stickstoff-Bindung durch Pilze in der Literatur¹⁾.

1893 veröffentlichte BERTHELOT und bald danach WINOGRADSKY die Ergebnisse von Arbeiten, durch die zum ersten Male Stickstoff-Assimilation durch Reinkulturen von bodenbewohnenden Bakterien und Pilzen sicher nachgewiesen war. Besonders die in methodischer Hinsicht hervorragenden Untersuchungen des zuletzt genannten Forschers über sein *Clostridium Pastorianum*, das sich später als eine Varietät des allgemein verbreiteten anaeroben Buttersäure-Bazillus (*Bac. amylobacter*) herausstellte, wirkten aufsehenerregend. Allerdings waren die Stickstoff-Ernten in WINOGRADSKYS Versuchen nicht bedeutend (ca. 2 mg Stickstoff pro g Zucker). Doch hat man in anderen Fällen wesentlich höhere Ausbeuten (ca. 6 mg Stickstoff pro g Zucker) erzielt, die sich eventuell auch noch steigern lassen werden. Daß solche Stickstoff fixierende Buttersäure-Bakterien sehr verbreitet über die ganze Erde hin anzutreffen sind, ist besonders durch G. BREDEMANN nachgewiesen worden.

Eine besonders interessante Gruppe von Stickstoff bindenden Organismen hat BELJERINCK kennen gelehrt: das schon wiederholt erwähnte *Azotobacter*²⁾. Man hat mehrere Arten oder Varietäten von ihm aufgefunden, die ebenfalls durchaus kosmopolitischen Charakter tragen. Sämtliche Azotobakter-Formen sind durch ihre meist recht ansehnliche Größe ausgezeichnet (Tafel I, Fig. 5). Die jungen Kulturen sind stets weiß.

¹⁾ JODIN, Compt. rend. de l'Académie Paris, T. 55, 1862, p. 612; HALLIER, Zeitschr. f. Parasitenkunde Bd. 1, 1869, S. 129; F. SESTINI und DEL TORRE, Landw. Versuchsstationen Bd. 19, 1876, S. 8.

²⁾ *Azotobacter* ist (wie *Granulobacter* und ähnliche Wortbildung) Neutrum. Man sollte deshalb nicht — wie es allerdings oft geschieht — „der“ sondern „das“ Azotobakter sagen.

Späterhin werden sie bei *Azotob. chroococcum* braun bis schwarz. Bei *Azotob. agile* (oder *Vinelandii*) bilden sie einen in das Substrat diffundierenden grün fluoreszierenden Farbstoff. Bei *Azotob. Beijerinckii* werden sie gelb, und nur bei *Azotob. vitreum* bleiben sie dauernd ungefärbt. Besonders bei der Züchtung auf Gipsplatten kann man recht charakteristische Auflagen erhalten, wie uns Tafel VIII vor Augen führt.

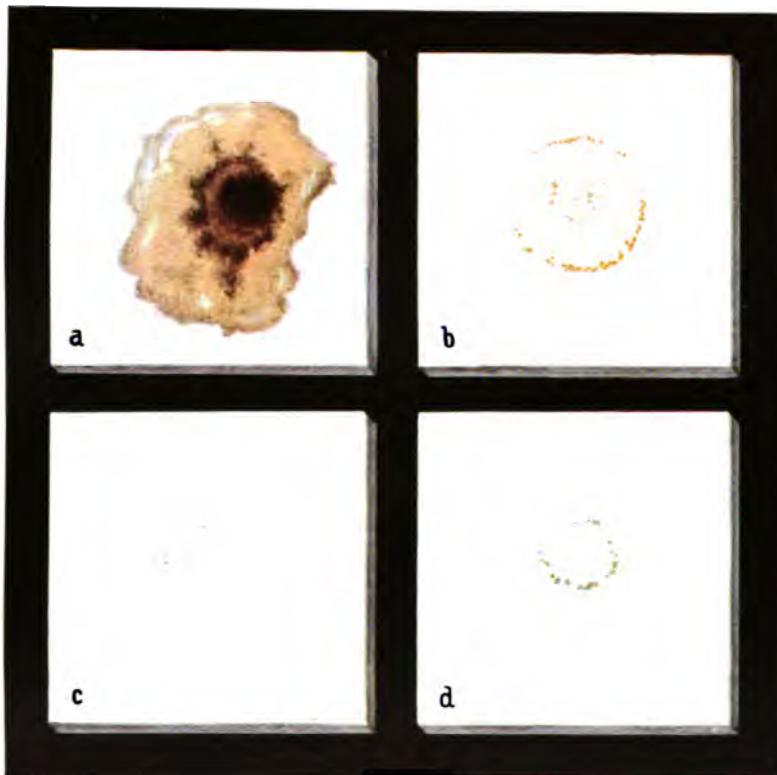
Stickstoff-Gewinne von 10—15 mg pro Gramm kohlenstoffhaltiger Substanz sind in Azotobakter-Kulturen nicht selten. Unter besonders günstigen Bedingungen können sie aber auf 50 mg (auf je 1 g verbrauchte Dextrose) und eventuell noch darüber hinaus ansteigen. Mannit, Trauben-, Rohr-, Frucht- und Milchzucker, ferner Dextrin, Inulin und Arabinose haben sich als geeignete Kohlenstoff-Quellen erwiesen. Da bei dem Abbau von Zellulose und Pektin-Substanzen, wie wir in der nächsten Vorlesung hören werden, ebenfalls Glukose entsteht, so ist es leicht verständlich, weshalb auch die im Boden in relativ größter Menge vorkommenden organischen Bestandteile auf Leben und Wirksamkeit des Azotobakter recht günstig einwirken können.

Namentlich auf Grund der Darlegungen WINOGRADSKYS war man früher meist der Ansicht, daß die Befähigung zur Fixierung des elementaren Stickstoffs nur wenigen Bakterien-Arten eigen sei. Zahlreiche Forschungen der letzten zehn Jahre haben indessen mit Sicherheit erwiesen, daß dem nicht so ist. Man hat bei Kokken, sporenen und sporenbildenden Stäbchen, bei Aktinomyzeten und bei Schimmelpilzen verschiedenster Art Stickstoff-Bindung nachweisen können. Auch blau-grüne Algen (Cyanophyceen) scheinen elementaren Stickstoff zu assimilieren. Daß verschiedene Autoren nicht immer zu gleichen Resultaten kamen, ist natürlich nicht verwunderlich. *Bac. amylobacter* (*Clostridium Pastorianum*) und Azotobakter haben gleichfalls bei entsprechenden Prüfungen nicht selten versagt. Die obwaltenden äußeren Umstände sowie Rasse-Eigentümlichkeiten machen wiederum ihren Einfluß geltend. Die Stickstoff bindenden Aktinomyzeten und Schimmelpilze scheinen für saure, humusreiche Böden von besonderer Wichtigkeit zu sein. In der Ackererde spielt allem Anschein nach Azotobakter die vornehmste Rolle. Auf die interessante Tatsache, daß wir in der Verwandtschaft der Knöllchenbakterien eine ganze Anzahl Stickstoff fixierender Formen antreffen, habe ich bereits hingewiesen. Schon M. BERTHELOT scheint hierher gehörige Kulturen in Händen gehabt zu haben.

Die Bedeutung der Stickstoff-bindenden Mikroben für den landwirtschaftlichen Betrieb werde ich später (in der 25. Vorlesung) eingehend zu erörtern haben. Vorläufig können wir aus dem bisher Gesagten etwa die folgenden Schlüsse ziehen: Die fast allenthalben in der Natur wahrnehmbare, allmählich fortschreitende Anreicherung des Bodens

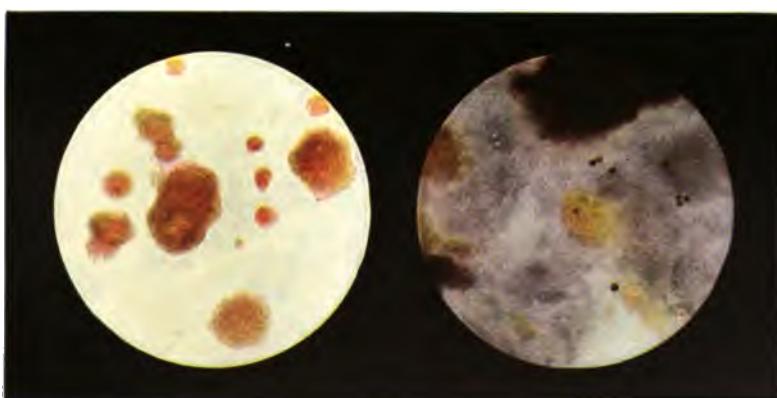
an gebundenem Stickstoff ist bedingt durch die Tätigkeit einer großen Zahl verschiedener Stickstoff-fixierender Mikroben. Bei der Bindung des elementaren Stickstoffs verbrauchen diese verhältnismäßig sehr bedeutende Mengen kohlenstoffhaltiger Substanzen. Im großen Durchschnitt wird man die Bindung von 1 Teil Stickstoff auf 100 Teile kohlenstoffhaltiger Substanz als ziemlich gutes Ergebnis ansprechen dürfen. In einigen Fällen sind zwar erheblich höhere, in anderen aber auch wesentlich niedrigere Ernten festgestellt worden. — Nun sind aber unsere Ackerböden, auch wenn ihnen von Zeit zu Zeit organische Düngestoffe einverleibt werden, in der Regel nicht sonderlich humusreich. Mithin müssen sich die jährlich für die Stickstoff-bindenden Erdbewohner verfügbaren Mengen an geeigneter kohlenstoffhaltiger Substanz notwendigerweise innerhalb relativ enger Grenzen halten. Nicht zur Stickstoffbindung befähigte Bakterien und Pilze zehren natürlich auch mit von diesem Vorrat. Daß also die frei im Boden lebenden Stickstoff-fixierenden Organismen wesentlich schlechter gestellt sind als die von den Leguminosen reichlich mit Zucker und Stärke versorgten Knöllchenbakterien, liegt auf der Hand. Einen geringen Nutzen können sie in manchen Fällen aus einer Symbiose mit verschiedenen niederen Algen ziehen. Im Meere ist speziell Azotobakter oft auf und mit Algen lebend angetroffen worden. Zeitweise können wir auch auf unseren Äckern eine Algen-Vegetation mit dem bloßen Auge als zarten grünen, die Erdteilchen überziehenden Schleier wahrnehmen. Meist ist aber von ihnen nichts zu sehen. Bedenken wir nun, daß die geschlossenen, üppig entwickelten Bestände von Hülsenfrüchten und von schmetterlingsblütigen Futterpflanzen den Knöllchenbakterien soviel kohlenstoffhaltige Substanz zur Verfügung stellen, daß diese 100—200 kg Stickstoff pro ha fixieren können, so müssen wir ohne Zweifel folgern, daß jene kaum sichtbaren und fast unwägbaren Algen-Entwicklungen — so interessant an sich ihre Symbiose mit Stickstoff bindenden Bakterien auch sein mag — für den Kohlenstoff- und Stickstoff-Haushalt des Bodens in der Regel nur sehr wenig in Betracht kommen können. Quantität und Qualität der jeweils verfügbaren Humussubstanzen sind offenbar das in erster Linie die Stickstoffbindung im Boden regulierende Moment. Wie gesagt, werden wir uns in der 25. Vorlesung mit diesen Fragen näher zu beschäftigen haben.

Tafel VIII.



1. Azotobacter-Kulturen auf Gips-Platten (nat. Grösse).

a. *Azotobacter chroococcum.* b. *Azotobacter Beijerinckii,*
c. *Azotobacter vitreum,* d. *Azotobacter agile.*



2. Zellulose-Zersetzung durch aërobe Organismen (nat. Grösse).

Bakterien. Schimmelpilze.

1000

12. Vorlesung.

Der Kreislauf von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff:
Abbau der Kohlenhydrate, der Alkohole und der organischen Säuren. Bildung und Zersetzung von Humusstoffen. Kohlensäure-Assimilation. Entstehung und Verarbeitung von Kohlenoxyd, von Methan und von Wasserstoff.

Der Kreislauf von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff. Aus Kohlensäure und Wasser produzieren die grünen Gewächse alle die verschiedenartigen Stickstoff-freien organischen Substanzen, die für die Erhaltung des Lebens aller tierischen Organismen auf unserem Planeten unentbehrlich sind. Wie wir bereits wissen, gibt es allerdings auch unter den Bakterien einige Arten, die zur Assimilation der Kohlensäure befähigt sind. Aber deren Leistung tritt im Kreislauf des Stoffes vollständig zurück gegenüber der gleichgerichteten Tätigkeit der höheren Pflanzen. Die weitaus überwiegende Mehrzahl aller Bakterien und Pilze bewirkt einen fortschreitenden Abbau jener Assimilationsprodukte. Der normale Atmungsprozeß liefert als Endprodukte stets wieder Kohlensäure und Wasser. In den höheren Organismen vollzieht sich also der Kreislauf von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff ganz regulär. Die Mikroorganismen haben dagegen auch hier wieder ihre Besonderheiten. Manche von ihnen lassen eine Anzahl anderer Abbau-Produkte entstehen, die im Stoffwechsel der höheren Pflanzen und Tiere nicht vorkommen. Schließlich werden allerdings auch diese Substanzen wieder in Kohlensäure und Wasser verwandelt. Im Hinblick auf die Kontinuität des Lebensprozesses ist dies ja unbedingt notwendig. Es handelt sich hierbei gewissermaßen um Seitenwege und Zwischenstationen, auf denen die abzubauenden Stoffe mitunter recht lange verweilen können. Eine schematische Darstellung (Abb. 25) wird vielleicht den besten Überblick über diese ziemlich verwickelten Vorgänge geben.

Die organischen Kohlenstoff-Verbindungen, um die es sich hier in erster Linie handelt, sind vornehmlich die verschiedenen Kohlenhydrate, Alkohole, organischen Säuren und Fette, die im landwirtschaftlichen Betriebe z. T. in sehr bedeutenden Quantitäten der Zersetzung anheimfallen. Benzol-Derivate (Phenole usw.) kommen

natürlich ebenfalls in Frage. Doch können wir sie vorläufig außer Betracht lassen. Sie sind meist relativ schwer zersetzblich, gehen in der Regel erst auf Umwegen in Kohlensäure und Wasser über, und spielen praktisch entschieden eine weit geringere Rolle als die zuerst genannten Substanzen. Gelegentlich werde ich ihrer aber weiterhin noch zu gedenken haben. — Da die zuerst genannten organischen Stickstoff-freien Verbindungen auch beim Aufbau stickstoffhaltiger organischer Körper (Amidosäuren, Eiweißstoffe usw.) Verwendung finden, so ist es ohne weiteres verständlich, daß und weshalb auch bei der Oxydation dieser Substanzen Kohlensäure und Wasser zur Entstehung gelangen.

Daß ich den sogen. Humus oder, richtiger gesagt, das meist recht komplizierte Gemisch der mannigfachen Humusstoffe getrennt von den „organischen Kohlenstoff-Verbindungen“ aufführte, geschah sowohl der

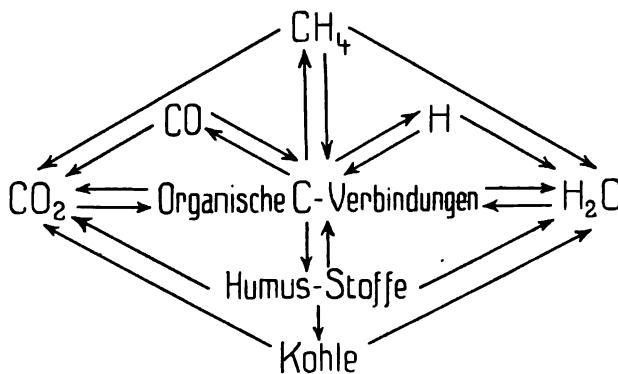


Abb. 25. Schematische Darstellung des Kreislaufes von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff.

größeren Übersichtlichkeit halber, wie namentlich mit Rücksicht auf die sehr hohe praktische Bedeutung gerade dieser (chemisch nicht exakt definierbaren) Gruppe organischer Verbindungen. — In den tieferen Erdschichten wird aus dem Humus, sofern er nicht vorher zu Kohlensäure und Wasser oxydiert oder, was allerdings seltener vorkommt, von Mikroorganismen nochmals zum Aufbau der Leibessubstanz verbraucht wurde, ein immer kohlenstoffreicheres, an Wasserstoff und Sauerstoff verarmendes Material, das schließlich alle Merkmale der „Kohle“ zeigt. Da diese aber immer noch keineswegs reiner Kohlenstoff ist, so können sich auch an ihrer Oxydation Bakterien und Pilze aktiv beteiligen. Die Hauptleistung bleibt allerdings dem in unseren Öfen und sonstigen Heizungs-Anlagen verlaufenden Verbrennungsprozeß vorbehalten.

Wie uns unser Diagramm weiter zeigt, haben wir, abgesehen von der Kohlensäure, mit verschiedenen anderen Gasen zu rechnen, die im

Stoffwechsel der Mikroorganismen gebildet und verbraucht werden können. An der Entstehung der in der Natur vorhandenen Quantitäten an Methan (Sumpfgas) sowie an Wasserstoff sind allerdings auch vulkanische Prozesse wesentlich mit beteiligt; und Kohlenoxyd ist bekanntlich ein häufig vorkommendes Produkt der unvollständigen Verbrennung der Kohle. Aber Bakterien nehmen, wie gesagt, gleichfalls teil an der Bildung und an der weiteren Umsetzung dieser Gase. Sowohl durch Oxydation (zu Kohlensäure und Wasser) wie durch Assimilation können die in solcher Form zeitweise auftretenden Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Sauerstoff-Mengen wieder in den normalen Kreislauf zurückgeführt werden. Zum Teil sind diese eigenartigen Vorgänge erst in neuester Zeit aufgedeckt worden. Am Schluße der Vorlesung werde ich einige genauere Angaben über sie machen.

Der Abbau der Kohlenhydrate, der Alkohole und der organischen Säuren. Diejenigen Kohlenhydrate, die im landwirtschaftlichen Betriebe in größten Mengen den Bakterien und Pilzen anheimfallen, sind die Zellulosen (Holz-, Rohfaser) und die Pektin-Substanzen. Dagegen streben wir in der Regel danach, die verfügbaren Quantitäten an Stärke und Zucker nach Möglichkeit der Ernährung von Mensch und Tier nutzbar zu machen. Immerhin ist eine — wenigstens teilweise — Umsetzung dieser Stoffe zuweilen ebenfalls erwünscht. Bei der Rahm- und bei der Käse-Reifung sowie in den Sauergruben- und Futter-Silos spielt sie z. B. eine wichtige Rolle. Mitunter bemächtigen sich auch ungebetene Gäste der Stärke oder des Zuckers. Es sind das die schleimproduzierenden Arten, die der Milch, den Zuckersäften und dem Brote eine klebrige bis fadenziehende Beschaffenheit verleihen. — Sowohl unter anaeroben wie unter aëroben Bedingungen kann der Abbau der Kohlenhydrate vor sich gehen. Bei der anaeroben Zersetzung kommt es stets zu einer Anhäufung organischer Säuren. Bei ausgiebiger Lüftung wird meist die letzte Stufe des Kohlenstoff-Abbaues erreicht, d. h. Kohlensäure und Wasser entstehen in größter Menge. Bei Luftabschluß treten fast ausschließlich Bakterien in Tätigkeit. Bei ungehindertem Luft-Zutritt pflegen die Schimmelpilze zu dominieren. Selbstverständlich können sich aber auch aërobe Bakterien am Effekt sehr wesentlich mit beteiligen.

Die Zellulose-Zersetzung kann bei Luft-Zutritt wie bei Luft-Abschluß gleich kräftig verlaufen. Oft schreitet die Zersetzung speziell unter aëroben Bedingungen lebhafter fort. Sowohl Bakterien, Aktinomyzeten wie Schimmelpilze können hierbei tätig sein. Die ziemlich zahlreichen Arten harren größtenteils noch eines eingehenden Studiums. Viele von ihnen produzieren braune bis schwarze Farbstoffe, die der halbzersetzten Zellulose ein humusartiges Aussehen verleihen (s. Taf. VIII, Fig. 2). Unter Luft-Abschluß gestaltet sich der Prozeß verschieden,

je nachdem Salpeter zugegen ist oder nicht. Ist Nitrat vorhanden, so setzt ein Denitrifikationsprozeß ein, in dem die Zellulose auf Kosten des Nitrat- resp. des Nitrit-Sauerstoffes oxydiert wird, etwa nach der Formel:



Fungieren dagegen Ammonsalze, Amide oder Eiweiß-Substanzen als Stickstoff-Quellen, so setzt ein mit Entwicklung von Wasserstoff und Methan verbundener Abbauprozess ein, der ebenfalls noch der genaueren Aufklärung bedarf. Vor einigen Jahren hat sich zwar der langjährige Mitarbeiter WINOGRADSKYS, Dr. W. OMELIANSKY, bereits ziemlich eingehend mit dieser Frage beschäftigt. Er kam zu dem Resultat, daß unter diesen Bedingungen zwei Arten von sporenbildenden Zellulose-Zersetzern in Tätigkeit treten. Neben Kohlensäure, verschiedenen organischen Säuren und anderen, z. T. unangenehm riechenden Zwischenprodukten, lieferten die betreffenden Kulturen entweder Wasserstoff oder Methan. Mit Hilfe einiger Kunstgriffe (Abimpfung zu verschiedener Zeit, Abtötung der früher auskeimenden Stäbchen des Methan bildenden Bazillus durch Pasteurisieren der Lösung) war es möglich, beide Gärungsprozesse zu trennen. Dagegen mißlangen alle Versuche, einwandfreie Reinkulturen der beiden Organismen des „Wasserstoff-“ und des „Methan-Bazillus“ zu erhalten. Sie zeigten durchaus keine Neigung zur Bildung von Kolonien auf festen Substraten. Die Nachzuchten dieser Kulturen OMELIANSKYS sind neuerdings von K. F. KELLERMANN eingehend untersucht worden. Neben mehreren verunreinigenden Arten konnten darin nur einige aërobe Zellulose-Zersetzer aufgefunden werden.

Als erstes Produkt der Zellulose-Lösung entsteht Zellobiose und dann daraus Glukose. Diese Stoffe sind es, die der eigentlichen „Gärung“, d. h. der unter Gasbildung verlaufenden, weitergehenden Zersetzung unterliegen. Hierbei treten jedenfalls sehr oft nicht die Zellulose-lösenden Organismen selbst, sondern andere Mikroben in Aktion. Entfernt man von Zeit zu Zeit die im Anhäufungsversuch gebildeten primären Stoffwechselprodukte — indem man die getrübte Nährlösung durch frische ersetzt — so kann man die Intensität der Zellulose-Zersetzung sehr erheblich steigern. An den in Abb. 26 reproduzierten Versuchs-Gefäßen ist dieses ungleiche Verhalten deutlich sichtbar. Im Darm der Tiere, im lagernden Stalldünger sowie im Boden gibt die Wirksamkeit der sehr zahl- und artenreichen Mikroflora ebenfalls zu einer raschen Beseitigung der Stoffwechselprodukte der Zellulose-Zersetzer Veranlassung. Deren lebhafte Tätigkeit an den genannten Orten ist infolgedessen wohl begreiflich. Soweit die Umsetzungen im Darm und im Dünger in Frage kommen, ist auch noch zu beachten, daß erhöhte Temperatur den Prozeß sehr begünstigt. Selbst noch bei 50° C wird die Zellulose durch Bakterien und Pilze meist recht lebhaft angegriffen. — Was die Menge

der insgesamt zum Abbau gelangenden Zellulose betrifft, so können wir etwa annehmen, daß im großen Durchschnitt jedes Hektar Land alljährlich 10—20 dz Rohfaser liefert, die früher oder später zur Zersetzung kommen. Die Leistungen der Zellulose zersetzen Bakterien und Pilze sind also keineswegs gering zu veranschlagen. Wie wir noch hören



Abb. 26. Zellulose-Zersetzung
mit und ohne
Wechsel der Flüssigkeit.

werden, haben sie auch bei dem im Körper unserer Haustiere verlaufenden Verdauungsprozeß die Lösung der Zellulose allein zu besorgen.

Die gleichfalls sehr wichtige Pektin-Zersetzung spielt nicht nur beim Zerfall der pflanzlichen Reste im Dünger und im Boden eine große Rolle. Sie ist auch technisch wichtig. Bei der sogenannten Röste der Textilpflanzen (Flachs, Hanf, Ramie usw.) sollen die aus Zellulose bestehenden Bastfasern aus dem sie umgebenden Pflanzengewebe heraus-

gelöst werden. Das kann natürlich nur geschehen, wenn zunächst die verkittende Zwischen-Zellsubstanz, d. h. eben jene Pektinsubstanzen beseitigt werden. Geht die Zersetzung, wie bei der Wasserröste des Flachsес oder beim Verrotten des Strohes im lagernden Dünger, unter anaëroben Bedingungen vor sich, so treten Formen aus der Gruppe des *Bacillus amylobacter* in Tätigkeit. In der Literatur figurieren sie wegen der Form der sporentragenden Stäbchen bzw. wegen ihres Granulose-Gehalts meist als *Plectridium* oder *Granulobacter pectinovorum*. Als aërobe Pektinzersetzer stehen dagegen neben verschiedenen Bakterien — speziell aus der Verwandtschaft der Heu- und Kartoffel-Bazillen — Schimmelpilze in erster Linie. Unter ihnen sind solche Arten nicht selten, die auch die Zellulose angreifen können. Speziell bei der sogen. Tau- oder Landröste des Flachsес kommt diese Nebenwirkung mitunter in nachteiliger Weise zur Geltung. Es bleibt dann nicht bei der erwünschten Pektin-Zersetzung, sondern die Bastfaser selbst wird in Mitleidenschaft gezogen. Die sie bildende Zellulose wird z. T. gelöst; die Faser wird „brüchig“.

Wie bei der Zellulose-Zersetzung wirkt erhöhte Temperatur (besonders auf die unter anaëroben Bedingungen verlaufende Pektin-Zersetzung) fördernd ein. Bei der „Warmwasser-Röste“ des Flachsес usw. macht man von dieser Tatsache praktisch Anwendung. Die neben Gasen als Abbau-Produkte auftretenden organischen Säuren müssen entweder durch Zusatz alkalischer Stoffe (Kalk, Soda, Pottasche u. dgl.) gebunden werden; oder man sorgt durch entsprechende Regulierung des Wasser-Zu- und -Abflusses dafür, daß diese auf die Röste hemmend einwirkenden Substanzen andauernd beseitigt werden.

Umgekehrt wird die Bildung und Anhäufung organischer Säuren — in erster Linie der Milchsäure — geradezu angestrebt bei der Umsetzung von Zucker und Stärke in den Molkereiprodukten und in den einzusäuernden Futtermitteln. Die Säure soll ja hier die fast immer vorhandenen „Fäulnis-Bakterien“ abtöten oder sie doch wenigstens hindern, ihre verderbliche Wirkung zu entfalten. Fehlt es an kräftigen Säurebildnern — und das ist besonders bei den in den Zuckerfabriken stark erhitzten Diffusions-Rückständen in der Regel der Fall —, so kann natürlich keine lebhafte Säuerung eintreten. Es resultiert ein faulig riechendes, mehr oder minder vollständig entwertetes Produkt. Die für Einrichtung, Füllung und Verschluß der Sauergruben geltenden Regeln laufen sämtlich auf möglichst weitgehende Fernhaltung der Luft hinaus. Die Säurebildung geht am besten unter anaëroben Bedingungen vorstatten. Gerade die kräftigsten Milchsäure-Bakterien werden durch Luft-Abschluß entschieden begünstigt, wenn sie auch nicht so exklusiv anaërob sind wie z. B. die meisten Buttersäure-Bakterien. Die in sehr

großer Zahl aufgestellten „Arten“ von Milchsäurebakterien kann man in folgende vier Gruppen einordnen:

1. Darm-Milchsäure-Bakterien (*Bact. coli, aërogenes* und *B. acidi lactici* HUEPPE),
2. Milchsäure-Streptokokken (*Streptococcus lactis*, früher meist *Bact. lactis acidi* LEICHMANN oder *Bact. Guentheri* genannt),
3. Laktobazillen (*Bacterium casei*),
4. Milchsäure-Mikrokokken (*Micrococcus lactis acidi*).

Die Darm-Milchsäure-Bakterien, die vor allem überall dort (also auch in der nicht völlig schmutzfrei gewonnenen Milch) zu finden sind, wo auch nur kleinste Teilchen der Exkremepte unserer Haustiere hingelangen, sind meist relativ dicke, plumpre Kurzstäbchen.

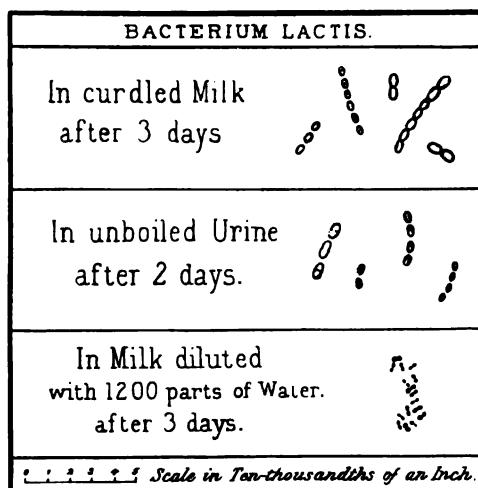


Abb. 27. *Bacterium lactis* LISTER.
Nach „Transactions of the Pathological Society of London“,
Vol. XXIX, 1878, plate XX.

Z. T. sind sie beweglich (*B. coli*), z. T. unbeweglich (*B. aërogenes* und *acidi lactici*). Die zuletzt genannte von F. HUEPPE¹⁾ 1884 beschriebene Form wurde längere Zeit irrtümlicherweise als „der Milchsäure-Bazillus“ in den Lehrbüchern geführt. Tatsächlich gibt es aber, wie gesagt, viele verschiedene Milchsäure produzierende Arten und Varietäten. Die Formen der anderen Milchsäure-Bakterien sind uns bereits bekannt (Tafel I, Fig. 1, 2 und 7). Daß man lange Zeit die Streptokokken-Natur der wichtigsten Milchsäurebakterien übersah und sie unter sehr verschiedenen Spezies-Namen dem Genus *Bacterium* einreichte, hat seinen Grund in ihrer — uns ebenfalls schon bekannten — Neigung, sich in der Längsrichtung der Kette zu strecken. Die vorstehend reproduzierte Abbildung zeigt dies sehr deutlich. Sie röhrt von JOHN LISTER her, der noch vor HUEPPE, Ende der siebziger Jahre, sein *Bacterium lactis* nach längeren Bemühungen in Reinkultur erhalten hatte²⁾.

¹⁾ Mitteilungen d. kais. Gesundheits-Amtes, Bd. 2, 1884, S. 309.

²⁾ Transactions of the Pathological Society, Vol. 29, 1878, p. 425.

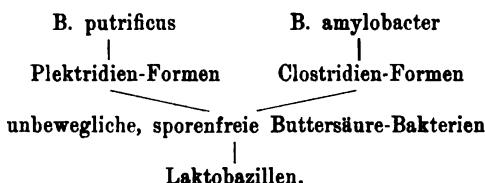
Die Darm-Milchsäure-Bakterien zersetzen den Zucker z. T. zu Kohlensäure und Wasserstoff, eventuell auch zu Methan. Der von BEIJERINCK in Vorschlag gebrachte Gruppenname *Aërobaeter* (= Gas-Bakterium) trägt diesem Verhalten Rechnung. Außerdem wirken sie (gemäß ihrer Herkunft) auf Geschmack und Geruch der betreffenden Substanz meist recht ungünstig ein. Speziell in der Milch und in den Molkerei-Produkten sind sie im allgemeinen nicht willkommen. Eine unsauber gewonnene Milch enthält sie aber oft in sehr großen Mengen. Erwünscht sind dagegen in den Sauergruben und Futtersilos sowie im Molkerei-Betriebe die Milchsäure-Streptokokken und die meist bei höherer Temperatur vorherrschenden, in der Regel besonders stark säuernden Laktobazillen. Zusammenfassend bezeichnet man diese beiden Gruppen gelegentlich als „echte“ Milchsäure-Bakterien. Den an vierter Stelle genannten Milchsäure-Mikrokokken begegnen wir besonders in der Butter und in den Käsen gleichfalls recht häufig. Oft produzieren sie neben der Säure auch ein labartiges sowie ein Käsestoff-lösendes Enzym. Mit diesen sogen. Säure-Lab-Kokken werden wir uns deshalb später auch noch näher zu beschäftigen haben. Sie sind die am meisten luftbedürftigen Milchsäure-Bakterien. An zweiter Stelle folgen in dieser Hinsicht die Darm-Milchsäure-Bakterien, an dritter die Mehrzahl der Milchsäure-Streptokokken und an letzter im allgemeinen die Laktobazillen. Daß auch hier einzelne Rassen eine abweichende Stellung einnehmen, brauche ich wohl nicht mehr speziell zu betonen. — In jeder Gruppe gibt es Formen, die nur eine der beiden für uns besonders wichtigen Zuckerarten, den Rohrzucker (im einzusäuernden Futter) oder den Milchzucker (in Milch, Butter und Käse) anzugreifen vermögen, und andere, die imstande sind, sowohl aus Rohr- wie auch aus Milchzucker Säure zu bilden.

Handelt es sich um die Säuerung Stärke-haltiger Materialien, so treten meist zuerst amylolytisch (oder diastatisch) wirkende Organismen in Tätigkeit. Besonders in der Gruppe der Heu- und Kartoffel-Bazillen sowie unter den Aktinomyzeten und Schimmelpilzen gibt es recht kräftige Stärke-Zersetzer. Eine geringe Befähigung zur Stärkelösung ist allerdings auch manchen Milchsäure-Bakterien eigen.

Natürlich ist weder in den Molkerei-Produkten, noch auch speziell in den Sauergruben und Futtersilos ein vollkommen reiner Bestand nur Milchsäure bildender Bakterien vorhanden. Infolgedessen gelangen allerhand andere Säuren zur Entstehung: Ameisen-, Essig-, Propion-, Butter-, Bernstein-Säure und noch manche andere. Besonders Essig- und Buttersäure nehmen im Sauerfutter oft in unerwünschter Weise überhand. Zuweilen sind sie fast allein nachweisbar; selbstverständlich nicht zum Vorteil des Futters. Während die „echten“ Milchsäure-Bak-

terien fast nur Milchsäure produzieren, tritt besonders bei den Darm-Milchsäure-Bakterien daneben in wechselnder Menge Ameisen-, Essig- und Bernsteinsäure auf. Namentlich haben manche Aërogenes-Varietäten die Eigentümlichkeit, vorwiegend Essig- oder Bernsteinsäure zu bilden. Doch leiten sich auch von den Laktobazillen gewisse Formen ab, die geradezu als anaërope Essigsäure-Bakterien gelten können. Sie können im Sauerfutter eine sehr wichtige Rolle spielen, während dies viel weniger für die aëroben Essigsäure-Bakterien gilt, die in den Essigfabriken bei ausgiebiger Lüftung den Alkohol zu Essigsäure oxydieren. Ferner stehen die spezifischen Propionsäure-Bakterien, die (wie wir noch näher sehen werden) für die Hartkäseherstellung von Wichtigkeit sind, teils mit den Laktobazillen, teils mit den Milchsäure-Streptokokken in ziemlich engem Zusammenhang. Besonders beachtenswert ist aber, daß schließlich auch zwischen den Laktobazillen und den anaëroben Buttersäure-Bazillen mancherlei Übergangsformen vermitteln. Die typischen anaëroben Buttersäurebakterien (vom Typus des *Bac. amylobacter*) sind allerdings von den Laktobazillen recht verschieden. Sie sind beweglich, bilden Sporen und produzieren vorwiegend Buttersäure. Indessen neigen wenigstens manche Stämme von ihnen sehr dazu, sowohl die Beweglichkeit wie die Sporenbildung zu verlieren. Und gerade bei diesen, den Laktobazillen äußerlich schon recht ähnlich werdenden Rassen schwindet dann auch die Fähigkeit zur Erzeugung von Buttersäure mehr und mehr. Statt dessen tritt die Milchsäure-Bildung immer stärker hervor.

Diese erst in den letzten Jahren schärfer erkannten verwandtschaftlichen Beziehungen der Buttersäurebakterien erstrecken sich übrigens auch in anderer Richtung. Es hat sich nämlich gezeigt, daß zwischen *Bac. amylobacter* und dem typisch-anaëroben Fäulnis-Bazillus, *Bac. putrificus*, gleichfalls mancherlei Übergänge vorhanden sind. Wie für Amylobakter die „Clostridien-“ so sind für Putrificus die „Plektridien“-Formen ziemlich charakteristisch (vgl. Tafel II, Fig. 11 und 12). Beide Formen können unter Umständen die Beweglichkeit und die Sporenbildung verlieren. Es resultieren dann hier wie dort die sogen. denaturierten, Milchsäure-bildenden Buttersäure-Bakterien, die den Laktobazillen, wie gesagt, z. T. schon recht nahe stehen. Das nachstehende Schema mag diese etwas verwickelten Beziehungen erläutern.



Schließlich gibt es außerdem aërope, sporenbildende Parallelformen, die sich den Heu- und Kartoffel-Bazillen anschließen. Hierher gehören die (praktisch allerdings kaum in Betracht kommenden) aëroben Buttersäure-Bazillen.

Sowohl zucker- wie stärkehaltige Substanzen können einer — in der Regel nicht erwünschten — Schleimbildung unterliegen. Dies hat vor allem seinen Grund darin, daß in allen vier Gruppen von Milchsäure-Bakterien solche Formen ziemlich häufig sind, die unter bisher nicht näher bekannten Bedingungen vorübergehend zu starker Schleimbildung neigen. Von der nordischen „Taettemjölk“ (Zähmilch) wird direkt verlangt, daß sie eine schleimige Konsistenz während der Säuerung annimmt. Ebenso spielte in der Edamer Käserei eine Zeitlang die „lange Wei“ (d. s. fadenziehende, saure Molken) eine ziemlich große Rolle. Im allgemeinen dürften aber schleimige Milch, fadenziehender Rahm und klebriges Brot wohl keine Liebhaber finden. Großen Schaden richtet mitunter die Verschleimung der Diffusions-säfte in Zuckerfabriken an. Neben dem sogen. *Leuconostoc* (Tafel II, Fig. 10), d. i. eine schleimbildende Form aus der Gruppe der Milchsäure-Streptokokken, treten hier oft auch schleimbildende Varietäten der Kartoffel-Bazillen in Tätigkeit. Regelmäßig sind diese des Übels Ursache im schleimigen Brot. Ihre Sporen überdauern den Backprozeß, und geben dann eventuell zu einer lebhaften Vermehrung der schleimbildenden Stäbchen Veranlassung. Das geschieht jedoch nur, wenn 1. die Aufbewahrungs-Temperatur (wie oft im Sommer) relativ hoch und 2. der Säuregehalt des Teiges abnorm niedrig ist. Durch einen mäßigen Säure-Zusatz (etwa 0,3% Milchsäure) bezw. durch Begünstigung der Säure-Bildung im Teig können diese Schleim-Produzenten relativ leicht im Zaume gehalten werden. Bei den Schleimbildnern in Milch und Rahm ist diese Art der Bekämpfung aus nahe liegenden Gründen gewöhnlich nicht möglich. Gründliche Desinfektion der in Frage kommenden Stellen resp. Beseitigung der zur Verschleimung neigenden Rahmreifungs-Kultur sind hier die gegebenen Wege zur Abstellung der Kalamität. In den Zuckerfabriken ist dauerndes Hochhalten der Temperatur (über 60° C) das sicherste Vorbeugungs-Mittel.

Die Säuerung der Kohlenhydrate ist fast ausnahmslos begleitet von einer Alkohol-Bildung. In der Brennerei und in der Brauerei kommt diesem Prozeß bekanntlich die größte Bedeutung zu. Aber auch im Sauerfutter, in saurer Milch und im Käse sind kleinere oder größere Alkohol-Mengen (bis 1% und darüber) fast regelmäßig anzutreffen. Selbst der lagernde Stalldünger und der Boden sind nicht vollständig alkoholfrei. Einige dem Anti-Alkoholismus offenbar besonders abholde Völker-schaften begnügen sich sogar nicht einmal damit, aus der harmlosen Milch durch Gärung berauschende Getränke, wie Kefir und Kumiß, herzustellen. Durch Destillation werden speziell aus dem Kumiß noch alkoholreichere Extrakte („Araka, Dang, Arsa und Chorza“) gewonnen, die zwar nicht an Wohlgeschmack, aber jedenfalls an Alkohol-

gehalt mit einem kräftigen Kognak z. T. recht wohl konkurrieren können. Wie in den Gärungsgewerben handelt es sich auch sonst meist um eine bisher nicht ganz erklärbare Symbiose von (Säure-bildenden) Lakto-bazillen und (Alkohol-bildenden) Hefen. Beide Organismen scheinen einander in mehrfacher Beziehung zu unterstützen. Wir treffen sie infolgedessen nicht nur vereint im Sauerfutter, Sauerkraut und in denjenigen fermentierten Milchsorten an, wo sie direkt erwünscht sind. Auch in den orientalischen Sauermilch-Speisen und -Getränken kommen sie vor, so in dem augenblicklich sehr modernen Jaourt oder Jogurt, der — wenigstens nach der Ansicht mancher Autoren — besser frei von Alkohol resp. von Hefe sein soll. Geringe Alkohol-Mengen werden übrigens auch von allerhand Bakterien selbst gebildet, doch kommen sie gegenüber den von den Hefen produzierten Quantitäten fast gar nicht in Betracht.

Die Entstehung und Anhäufung der organischen Säuren und der Alkohole erfolgt hauptsächlich unter Luft-Abschluß. Bei reichlichem Luftzutritt werden beide Gruppen von organischen Kohlenstoff-Verbindungen meist rasch weiter umgesetzt. Die Oxydationsprozesse enden wieder bei Kohlensäure und Wasser. Eine sehr ansehnliche Zahl von Bakterien und Pilzen ist zu derartigen Leistungen befähigt. Einige Einzelheiten ersehen wir aus der nachstehenden Tabelle.

Es werden zersetzt (+) bzw. nicht zersetzt (—) durch	Ameisen- säure	Essig- säure	Propion- säure	Milch- säure	Bernstein- säure	Äpfel- säure	Wein- säure	Zitronen- säure
Bact. fluorescens . . .	+	+	+	+	+	+	+	+
„ prodigiosum . . .	+	—	—	—	—	+	—	+
„ erythrogenes . . .	—	—	—	—	—	+	+	+
„ aërogenes . . .	+	—	—	—	—	+	—	+
„ acidi lactic . . .	+	—	—	—	—	+	+	+
„ coli	+	—	—	—	—	+	+	+
„ vulgare (Proteus)	+	—	—	—	—	+	+	+
Bacillus subtilis . . .	—	—	—	—	—	—	—	+
„ mesentericus .	+	—	—	—	—	+	—	+
Oidium lactis . . .	—	+	—	+	—	—	—	—

Diese Befunde sind einer ausführlichen Arbeit MAASSENS über die Zersetzung der organischen Säuren entnommen¹⁾. Auch die Oxalsäure, die von keiner der in diesem Falle geprüften Arten angegriffen wurde, kann von verschiedenen Bakterien umgesetzt werden. Speziell bei der Einsäuerung sowie beim Unterpflügen der an Oxalsäure reichen Rübenblätter tritt dieser Prozeß deutlich hervor.

¹⁾ Arbeiten aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 12, 1896, S. 340.

Die Fette sind Verbindungen von organischen Säuren (Butter-, Öl-, Stearin-, Palmitinsäure u. a.) und einem dreiwertigen Alkohol (dem Glyzerin). Wir verstehen demgemäß sofort, daß und weshalb die Zersetzung, das „Ranzigwerden“ der Fette durch reichlichen Luftzutritt so außerordentlich begünstigt wird. Eine sehr große Zahl aërober Bakterien und Pilze können sich an der Fett-Zersetzung beteiligen, daneben allerdings auch der Luft-Sauerstoff selbst, unter dessen Einfluß die Butter eine weiße Farbe und einen talgigen Geruch und Geschmack annimmt. Bei der Besprechung der „Butterfehler“ werde ich auf die verschiedenen Grade und Ursachen der Fett-Zersetzung näher eingehen.

Daß bei intensiver Veratmung des Fettes durch Schimmelpilze unter Umständen recht erhebliche Wasser-Mengen zur Ausscheidung kommen können, erwähnte ich bei einer anderen Gelegenheit (S. 63): bei der Zersetzung von Rübsenkuchen schwanden rund 8% Fett und dafür stieg der Wassergehalt um ca. 10%.

Bildung und Zersetzung von Humusstoffen. Beim Abbau der in den tierischen und pflanzlichen Resten enthaltenen organischen Kohlenstoff-Verbindungen treten nicht ausschließlich chemisch gut definierbare Körper in die Erscheinung. Im lagernden Stalldünger sowie im Boden spielen die sogen. Humusstoffe eine sehr wichtige Rolle. Scharfe Beobachter haben die hohe Bedeutung dieser Substanzen von jeher erkannt und hervorgehoben. Ein nicht zu geringer Vorrat an „mildem“ Humus galt dem praktischen Landwirt immer als eines der sichersten Merkmale eines fruchtbaren Bodens. Leider blieben indessen — unter dem Einflusse der in dieser Hinsicht sehr einseitigen Ideen LIEBIGS und seiner Schule — die Humusstoffe bis in die neueste Zeit fast ganz außerhalb des Bereiches der wissenschaftlichen Forschung. Erst die letzten Jahre haben einige erfreuliche Fortschritte auch auf diesem Gebiete gebracht.

Die dunkle Farbe der Humuskörper gilt gewöhnlich als Kennzeichen eines besonders hohen Kohlenstoff-Gehalts. Oft trifft diese Vermutung in der Tat zu. Doch gehört es auch nicht gerade zu den Seltenheiten, daß die Analyse nicht mehr, sondern sogar weniger Kohlenstoff nachweist als in Stärke, Zucker und Zellulose. Daß Luftabschluß die Aufspeicherung großer Humus-Mengen sehr begünstigt, lehrt uns eine Betrachtung der Moore oder des hoch aufgeschichteten Stalldüngers. Wir würden uns aber im Irrtum befinden, wenn wir die Humusbildung schlechthin als einen anaëroben Prozeß ansehen wollten. Auch bei reichlichem Luftzutritt können aus tierischen und pflanzlichen Resten dunkelgefärbte Produkte entstehen, die wir, wenn sie uns im Boden begegnen, eben „Humus“ nennen. Von der Braun- und Schwarzfärbung der durch aërobe Bakterien und Pilze angegriffenen Zellulose sprach

ich bereits. Oft bedarf es nicht einmal der Mitwirkung von Mikroben. Infolge spontaner Oxydation können ebenfalls dunkel gefärbte Stoffe zur Entstehung gelangen. Die meist ziemlich rasch einsetzende Bräunung eines der Luft ausgesetzten durchschnittenen Apfels sowie die an absterbenden Pflanzenteilen (z. B. an den grünen Schalen der Wallnüsse) oft wahrnehmbare Schwärzung sind allgemein bekannte Beispiele für derartige Umsetzungen. Auch größere und kleinere Tiere tragen im Boden sehr wesentlich zur Humusbildung bei. „Humus“ ist zu einem ansehnlichen Teile nichts anderes als „Kot“ von Regenwürmern, Insekten usw. Auf Einzelheiten in bezug auf Bildung und Eigenschaften des unter verschiedenen Bedingungen entstehenden Humus werde ich später zu sprechen kommen, wenn wir uns speziell mit den Umsetzungen im Boden beschäftigen.

Vorläufig sei nur noch ergänzend bemerkt, daß es natürlich keinen Sinn hat, für die der Analyse unterworfenen Substanz-Gemische mehr oder minder komplizierte Formeln aufzustellen. Trotzdem kehren solche selbst in neueren Werken immer wieder. Der amerikanische Chemiker O. SCHREINER hat in den letzten Jahren, unterstützt von seinen Mitarbeitern SHOREY, LATHROP, SULLIVAN u. a., eine bereits recht ansehnliche Zahl gut definierter stickstoffhaltiger und stickstoffreier Substanzen aus dem Humus abgeschieden. Auch die moderne Kolloid-Forschung hat manche Eigentümlichkeiten der Humusstoffe dem Verständnis näher gebracht. Vor allem scheint aber eine 1912 von dem Franzosen MAILLARD gemachte Entdeckung tiefere Einblicke in dieses „dunkle“ Gebiet zu erschließen¹⁾. MAILLARD fand nämlich, daß Amidosäuren und Kohlenhydrate rasch in der Wärme, langsam in der Kälte derart aufeinander einwirken, daß sie unter Entwicklung von Kohlensäure braun bis schwarz gefärbte, teils humus-, teils kohleartige Körper liefern, in denen der Kohlenstoff wahrscheinlich ringförmig gebunden ist. Bleibt auch einstweilen (sowohl in chemischer wie in mikrobiologischer Hinsicht) noch sehr viel zu tun übrig, so dürfen wir uns doch nun der berechtigten Hoffnung hingeben, daß in absehbarer Zeit jene bedauerliche Versäumnis wieder eingeholt sein wird, unter der heute die Forschung über Bildung und Eigenschaften des Humus noch leidet.

Wie der aus den unteren Lagen eines Moores stammende Torf sowie die Kohle uns lehren, entsteht bei weitgehendem Luftabschluß ein sehr kohlenstoffreiches und besonders resistentes Material. Dagegen fällt der relativ kohlenstoffarme Humus, wie er in der reichlich durchlüfteten Ackererde anzutreffen ist, verhältnismäßig leicht der Zersetzung anheim. Diese ist als Oxydationsprozeß naturgemäß nur bei

¹⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 155, 1912, p. 66, 1554.

Luftzutritt möglich. Wie bei der Bildung des Humus haben wir auch bei der Zersetzung mit einer Vielheit von Ursachen zu rechnen. Bald handelt es sich um eine spontane, rein chemische Oxydation, bald treten Bakterien und Pilze, bald niedere oder höhere Tiere in Aktion und schließlich wirken auch die Wurzeln der höheren Pflanzen oft sehr erheblich an der Zersetzung mit. Alle diese im natürlichen Verlauf der Dinge mannigfach ineinander greifenden Umsetzungen führen schließlich die kohlenstoffhaltigen Verbindungen wiederum in Kohlensäure und Wasser über, während gleichzeitig aus den im Humus nie fehlenden Stickstoff-Verbindungen Ammoniak und Salpetersäure entstehen. Intermediär können noch allerhand organische Säuren auftreten. Auch werden größere oder kleinere Anteile des bereits im Abbau begriffenen Stickstoffes und Kohlenstoffes immer von neuem assimiliert. Das massenhafte Leben im Humus bedingt dauernd zugleich Abbau und Aufbau.

Kohlensäure-Assimilation. Die durch die tierische und die menschliche Atmung sowie durch die Verbrennung von Kohlen und Holz erzeugten Mengen an Kohlensäure stellen nach Berechnungen von SAUSSURE und SCHLEIDEN nur etwa $\frac{1}{10}$ desjenigen Quantums dar, das von den Pflanzen im Assimulationsprozeß verbraucht wird¹⁾). Nun atmen ja allerdings auch sämtliche Teile der grünen Gewächse und speziell die Wurzeln nicht geringe Kohlensäure-Mengen aus. Daneben aber bleibt offenbar für die Mikroorganismen in dieser Richtung noch recht viel zu tun übrig.

Mit der Kohlensäure-Assimilation der Mikroben verhält es sich ganz anders. Es gibt zwar, wie wir wissen, mehrere Gruppen von Bakterien, die zur Kohlensäure-Assimilation befähigt sind. Es sind das erstens die uns bereits bekannten Salpeter-Bakterien, zweitens die sogleich noch kurz zu besprechenden Wasserstoff oxydierenden Bakterien, drittens gewisse Sulfatbildner und Thiosulfat-Bakterien und viertens manche Eisenbakterien, mit denen wir uns in der nächsten Vorlesung noch beschäftigen werden. So interessant aber auch der durch diese Organismen bewirkte Kohlensäure-Assimulationsprozeß an sich zweifellos ist, so kann er doch vom landwirtschaftlichen Standpunkte aus nur sehr gering eingeschätzt werden. Von den genannten vier Organismen-Gruppen entfalten nur die Salpeterbakterien eine wirklich lebhafte Tätigkeit in der Ackererde. Zwar hat es nicht an Autoren gefehlt, die glaubten, behaupten zu müssen, die Bedeutung der Salpeterbakterien sei gerade in deren Befähigung zur Kohlensäure-Assimilation

¹⁾ Zitiert nach BEIJERINCK, Archives néerlandaises [2^{me}. Sér.] Programme pour l'année 1904, p. XI.

bezw. in der (angeblich) hierdurch veranlaßten Bereicherung des Bodens an organischer Substanz zu suchen. Eine einfache Berechnung zeigt uns jedoch sofort, was wir von dieser sonderbaren Behauptung zu halten haben. Bei entsprechenden Untersuchungen ergab sich, daß die Salpeterbakterien 35—40 Teile Stickstoff in Form von Ammoniak oder salpetriger Säure oxydieren müssen, um mit der hierbei gewonnenen Energie 1 Teil Kohlenstoff (in Form von Kohlensäure) assimilieren zu können. Die jährlich in den Äckern gebildete Salpetermenge kann — reichlich gerechnet — auf rund 150 kg Stickstoff pro ha veranschlagt werden. Dem entspricht eine „Bereicherung“ des Bodens um ca. 4 kg Kohlenstoff pro ha. Eine mittelstarke Stallmist-Düngung führt dagegen der gleichen Fläche Landes ca. 5000 kg Kohlenstoff zu!

Von den auf und in der Erde lebenden niederen Algen hat man ebenfalls eine erhebliche Vermehrung des Vorrats an organischem Kohlenstoff im Boden erwartet. Auch das sind bloße Mutmaßungen, die zudem wenig Wahrscheinlichkeit für sich haben. Für gewöhnlich sieht man von den bodenbewohnenden Algen gar nichts, mitunter zwar etwas, aber nicht viel. Wie ich schon in der voraufgegangenen Vorlesung bemerkte, zeigen uns die auf dem Felde wachsenden Pflanzen wohl deutlich genug, daß überall dort, wo eine ansehnliche Neubildung organischer Kohlenstoff-Verbindungen stattfindet, stets eine für das bloße Auge ohne weiteres wahrnehmbare reichliche Entwicklung der assimilierenden Organismen vorhanden sein muß.

Entstehung und Verarbeitung von Kohlenoxyd, von Methan und von Wasserstoff. Kohlenoxyd entsteht in großen Mengen bei der unvollständigen Verbrennung der Kohle. Als Produkt der Tätigkeit von Mikroben wurde es bisher nur gelegentlich in kleinen Mengen im lagernden Stalldünger nachgewiesen. Spezielle Untersuchungen in dieser Richtung liegen nicht vor. Dagegen kennt man Bakterien, die Kohlenoxyd als alleinige Kohlenstoff-Quelle für Ernährung und Atmung verwenden. Speziell der zu dieser Umsetzung befähigte *Bac. oligocarboxophilus* verhält sich gegen die in anderen Fällen weit „besseren“ Kohlenstoff-Quellen entschieden ablehnend.

Methan wird unter Luftabschluß meist in großen Mengen von vielen Bakterien-Arten und zwar aus den verschiedensten Substanzen (Eiweißstoffen, Amiden, Kohlenhydraten, organischen Säuren und Alkoholen) produziert. In den Darm- und Düngergasen beläuft sich der auf dieses Gas entfallende Anteil oft auf 50% und mehr. Auch vom Wasser völlig durchtränkter Boden liefert, wenn er genügend reich an organischen Substanzen ist, beträchtliche Quantitäten an „Sumpfgas“. Dagegen ist die gut durchlüftete Ackererde der Methan-Bildung wenig günstig. Die Verarbeitung erfolgt vorwiegend durch einen *Bacillus*

mehanicus. Doch können auch andere Arten mit eingreifen. Der Kohlenstoff wird auch hier teils assimiliert, teils oxydiert.

Wasserstoff entsteht unter ganz ähnlichen Bedingungen wie das Methan, aber meist in kleineren Mengen. Daß der bei den verschiedenen Zersetzung-Prozessen frei werdende Wasserstoff recht lebhaft, und zwar unter der Einwirkung von Mikroorganismen oxydiert werden kann, wurde bereits im Jahre 1838 von SAUSSURE erwiesen. Neuerdings hat man mehrere Wasserstoff oxydierende Bakterien in Reinkultur erhalten. Wie gesagt, gewinnen sie aus der Oxydation des Wasserstoffs die Energie zur Assimilation der Kohlensäure. Im Gegensatz zu den Salpeterbakterien sind sie aber durchaus nicht auf diese eine Art des Stoffwechsels angewiesen. Auf Kosten bereits vorhandener organischer Substanz gedeihen sie ebenfalls recht gut. Im Boden scheint übrigens der Wasserstoff auch auf physikalisch-chemischem Wege — unter dem Einflusse von Kolloiden — oxydiert werden zu können. Indessen sind gerade hier die Voraussetzungen für das Auftreten größerer Mengen von Wasserstoff kaum jemals erfüllt.

13. Vorlesung.

Umsetzungen mineralischer Substanzen: Zersetzung und Assimilation von Phosphor-Verbindungen. Lösung von Karbonaten und Silikaten. Schwefel- und Eisen-Bakterien.

Umsetzungen mineralischer Substanzen. Der Abbau der kohlenstoff- und der stickstoffhaltigen Substanzen ist vornehmlich das Werk von Mikroben. Soweit die Umsetzung mineralischer Substanzen in Betracht kommt, tritt die Beteiligung der Bakterien und Pilze weit weniger deutlich hervor. Gleichwohl ist sie keineswegs unwichtig.

Bei der Zerlegung der organischen Reste werden naturgemäß auch die darin vorhandenen Mengen an Kali, Kalk, Phosphor, Schwefel usw. wieder in anorganische Bindung zurückgeführt. Aber das geschieht fast nie ganz vollständig. Die Mikroben verbrauchen stets einen Teil der Mineralstoffe zum Aufbau der eigenen Körper-Substanz. Wie der Stickstoff des untergepflügten Stalldüngers nur nach und nach den angebauten Nutzpflanzen zugänglich wird, so kommen auch die darin zugeführten Kali- und Phosphor-Mengen nur allmählich zur Wirkung.

Z. B. betrug die prozentische Ausnutzung der im Stalldünger enthaltenen Nährstoffe (in abgerundeten Zahlen):

	Stickstoff	Phosphor	Kali
nach B. SCHULZE ¹⁾ in 4 jährigen Feldversuchen . . .	7—46	10—76	22—85
„ B. WELBEL ²⁾ in 3 jährigen Feldversuchen . . .	32—51	30—41	?
„ „ „ in 8 jährigen Gefäßversuchen . . .	54	103	?
„ W. SCHNEIDEWIND ³⁾ in 2 jährigen Feldversuchen	28—34	25—34	43—70

Für die eigentliche „Verwitterung“ der felsbildenden Gesteine und der Gesteinstrümmer in den Kulturböden sind rein physikalisch-chemische Vorgänge sicherlich von größter Bedeutung. Die Einwirkungen der Atmosphärierilien, des Frostes und der im Boden zirkulierenden Flüssigkeit üben den größten Einfluß aus. Doch sind auch sie z. T. abhängig

¹⁾ Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, Heft 198, 1911, S. 167, 170, 174.

²⁾ Travaux du Laboratoire chimique de la Station expérим. agron. de Ploty pour l'année 1908, p. 58, 62.

³⁾ Landwirtschaftliche Jahrbücher, Bd. 39, Ergänzungs-Bd. III, 1910, S. 62—74.

von der Mitwirkung von Mikroorganismen. In gewissen Fällen tritt deren Tätigkeit sogar recht deutlich in die Erscheinung.

Vor allem haben wir hier an die oft recht bedeutenden Mengen an Kohlensäure zu denken, die von den Humus-zersetzenden Bodenbewohnern andauernd produziert werden. Die lösende Wirkung der Bodenflüssigkeit hängt zu einem guten Teile von dieser Kohlensäure ab, zu der natürlich noch die Atmungs-Kohlensäure sowie die sonstigen sauren Ausscheidungen der Pflanzenwurzeln hinzutreten. Auch die im Stoffwechsel der Bakterien und Pilze auftretenden anderen anorganischen und organischen Säuren können sich an der Aufschließung der Mineralien beteiligen. Weiterhin kann es sich aber — speziell bei den Umsetzungen des Phosphors, des Schwefels und des Eisens — um direkte Einwirkungen verschiedener Mikroben handeln, die hinter jenen sekundären Prozessen an Bedeutung kaum zurückstehen.

Damit wir später bei der speziellen Erörterung der Bakteriologie des Düngers und des Bodens nicht nochmals auf diese Fragen zurückzukommen brauchen, will ich alles Wissenswerte hierüber gleich in dieser Vorlesung im Zusammenhange mitteilen.

Zersetzung und Assimilation von Phosphor-Verbindungen. Von den verschiedenen phosphorhaltigen Substanzen kommen für uns vornehmlich in Betracht: 1. die in den organischen Resten vorhandenen Phosphatide (Lezithine), Phytine und Nukleoproteide, deren Zersetzlichkeit in der angegebenen Reihenfolge abnimmt; 2. die schwerlöslichen Phosphate in den Gesteinen und im Boden.

Die pflanzlichen Düngerstoffe (Gründünger, Stroh usw.) enthalten den Phosphor vorwiegend in organischer Form, hauptsächlich als Phytin. In den Ausscheidungen und Rückständen der tierischen Organismen (Guano, Knochenmehl usw.) sind dagegen Phosphate meist schon in reichlicher Menge zugegen. Die Löslichkeit des im tierischen Dünger vorhandenen Phosphors fand man teils größer, teils kleiner als im aufgenommenen Futter. Je nach den gegebenen Bedingungen überwog die abbauende Tätigkeit der Darmbakterien über die durch sie gleichzeitig bewirkte Phosphor-Assimilation, oder es trat das Gegenteil ein. Genau wie bei der Nitrat- und Ammon-Assimilation macht in erster Linie der Vorrat an leicht zugänglichen organischen Kohlenstoff-Verbindungen seinen Einfluß geltend. Je günstiger in dieser Hinsicht die Verhältnisse liegen, umso üppiger gedeihen die Bakterien und Pilze, und umso größere Phosphor-Quantitäten müssen auch in Form von Mikroben-Körpersubstanz deponiert werden.

Bei einem Versuche O. KELLNERS¹⁾ stieg der Gehalt eines Fischguano an in kohlensäure-haltigem Wasser löslichem Phosphor von 18 auf 52—68%, wenn das betreffende Material als Futter Verwendung fand. Wurden die Exkremeante noch zwei

¹⁾ Landwirtschaftl. Versuchsstationen, Bd. 20, 1877, S. 438.

Monate der Zersetzung überlassen, so erhöhte sich der lösliche Phosphor-Anteil weiter bis auf 62—73%. In anderen Fällen sank dagegen der Gehalt an löslichen Phosphor-Verbindungen während der Düngerotte. Besonders deutlich kann dies dann hervortreten, wenn dem Stallmist lösliche Phosphate beigemischt werden. Z. B. konstatierte W. E. TOTTINGHAM unter derartigen Bedingungen einen Rückgang des löslichen Phosphors um 24—64%¹⁾.

Im Boden kann die Phosphor-Assimilation ebenfalls als ein die Phosphor-Absorption unterstützender Faktor in Frage kommen. Der Humusgehalt der Erde begünstigt beide Prozesse.

Einige Autoren haben die Bedeutung der von ihnen als „biologische Absorption“ bezeichneten Assimilation des Phosphors in der Weise festzustellen versucht, daß sie ermittelten, wieviel von dem Phosphor wasserlöslicher Phosphate in nicht erhitzter und in durch starkes Erhitzen sterilisierter Erde festgelegt wurde. Die betreffenden Zahlen waren für die unveränderte Erde wesentlich höher. Indessen kann die sich ergebende Differenz zweifellos nicht allein mit der stattfindenden resp. ausbleibenden Phosphor-Assimilation in Zusammenhang gebracht werden. Die bei jenen Versuchen nicht genügend beachtete Änderung, welche die Absorptionskraft der Erde selbst beim Erhitzen erleidet, muß ebenfalls in Rechnung gezogen werden. Es bedarf demnach noch anders angeordneter Versuche, ehe man in dieser Richtung klarer sehen wird.

In früheren Zeiten hat man vielfach geglaubt, die in den Knochen oder in dem rohen Knochenmehl enthaltenen Phosphate dadurch aufzuschließen und zu einer besseren Wirkung bringen zu können, daß man sie, mit den tierischen Ausscheidungen vermischt, einer „Fermentation“ überließ. Die höhere düngende Kraft des „fermentierten“ Materials war aber jedenfalls weit mehr in einer Aufschließung der stickstoffhaltigen als in einer Lösung der phosphorhaltigen Knochensubstanz begründet.

Der neuerdings gelegentlich unternommene Versuch, mineralische Triphosphate durch eine solche Fermentation zu besserer Wirkung zu bringen, hätte von vornherein als verfehlt erkannt werden können. Denn wenn unlösliche Phosphate in ansehnlichem Umfange löslich gemacht werden sollen, so kann das immer nur in einem sauren Substrat, bzw. infolge der Einwirkung der etwa entstehenden Säuren geschehen, nicht aber in dem meist deutlich alkalisch reagierenden tierischen Dünger. Verhältnismäßig am besten haben sich denn auch die Rohphosphate — sofern man sie überhaupt in diesem Zustande zur Düngung verwenden will — in den sogenannten „sauren“ Böden bewährt. Neben organischen und anorganischen Säuren kommen allerdings hier auch die adsorptiv ungesättigten kolloiden Bodenbestandteile wesentlich mit in Betracht. Sie wirken Kalk-entziehend und dadurch aufzuschließend auf die Triphosphate. Werden im Experiment die Bedingungen derart gewählt, daß große Mengen organischer oder mineralischer Säuren entstehen, dann kann eventuell eine namhafte Phosphatlösung durch Mikroben

¹⁾ Chemiker-Zeitung, Bd. 36, 1912, S. 873.

verzeichnet werden. Im Boden sind aber diese Voraussetzungen gewöhnlich nicht gegeben.

Einige Forscher haben die durch Bakterien und Pilze des Bodens bewirkte Phosphatlösung recht hoch eingeschätzt. Sogar spezifische Enzyme sollen in Tätigkeit treten. Andere in dieser Richtung angestellte Versuche endeten indessen gänzlich oder doch fast völlig negativ. Sicherlich können die etwa im Gefolge einer Stallmist- oder einer Grün-Düngung im Boden auftretenden Säuren, ebenso wie die im Boden gebildete Salpeter- und Schwefelsäure an diesen Umsetzungen partizipieren. Höher dürfte aber im allgemeinen die Wirkung der Kohlensäure zu veranschlagen sein, die wie gesagt, wenigstens teilweise mit dem Leben im Boden im engsten Zusammenhange steht.

Ob die Mikroorganismen auch Phosphor-Wasserstoff erzeugen können, blieb lange ungewiß. Neuerdings hat diese Frage eine bejahende Beantwortung gefunden. Doch handelt es sich sicher stets nur um sehr geringe Phosphor-Mengen, die auf diesem Wege aus dem lagernden Stalldünger und anderen in der Zersetzung begriffenen Massen eventuell in Verlust geraten. Für den Gestank der Fäulnisgase mögen diese Spuren Phosphor-Wasserstoff immerhin mit verantwortlich zu machen sein.

Beiläufig sei hier erwähnt, daß auch der gleichfalls intensiv nach Knoblauch riechende Arsen-Wasserstoff sowie ähnlich „duftende“ flüchtige organische Arsen-Verbindungen durch Schimmelpilze aus mineralischen Arsen-Verbindungen produziert werden können. Dieses Verhalten der betreffenden Pilze (*Penicillium brevicaule*, *Aspergillus niger*, *Mucor mucedo* u. a.) wird zum biologischen Nachweis von Arsen benutzt.

Lösung von Karbonaten und Silikaten. Im großen und ganzen wird es sich mit dem Abbau der in den organischen Resten vorhandenen Verbindungen der Alkalien und Erdalkalien sowie mit der Assimilation dieser Substanzen ähnlich verhalten wie mit den entsprechenden Umsetzungen des Phosphors. Spezielle Untersuchungen sind noch kaum ausgeführt worden. Das gilt auch in bezug auf die Frage, ob für die Lösung der Salze der Alkalien und Erdalkalien, speziell der Karbonate und Silikate, die Mitwirkung von Mikroorganismen von Bedeutung ist. Wir dürfen aber immerhin mit Sicherheit annehmen, daß die Aufschließung dieser Mineral-Substanzen ebenfalls nur indirekt mit dem Leben der Erd-Mikroben in Zusammenhang steht. In erster Linie kommt wieder die Kohlensäure in Betracht, an zweiter Stelle die organischen Säuren, und an dritter die Salpeter- und die Schwefelsäure.

Sonderlich imponierend sind die Leistungen dieser Säuren aber offenbar nicht. In Gestalt von Feldspat, Glimmer usw. finden sich kalihaltige Silikate in allen Böden. Der Verwitterung setzen sie meist

recht großen Widerstand entgegen. Bei Düngungsversuchen haben sie sich fast nie bewährt. Alle Länder mit intensivem Ackerbau sind deshalb genötigt, lösliche Kalisalze aus Deutschland zu beziehen. Auch für die humusreichen sauren Böden sind die Kalisilikate kaum wertvoller als für neutral reagierende Erden. Die aufschließende Wirkung der adsorptiv ungesättigten Bodenkolloide, die für den Düngungseffekt von Rohphosphaten ausschlaggebend ist, macht sich zwar auch hier geltend. Aber leider wird ja nur die Kieselsäure in Freiheit gesetzt, während das Kali recht fest gebunden wird.

Von relativ grösster Bedeutung ist entschieden der Austausch von Kohlensäure und Kieselsäure, der sich ununterbrochen jahraus jahrein in der Natur vollzieht. Mitunter äußern allerdings sowohl die Salpeter- wie die Schwefelsäure eine deutlich erkennbare Wirkung. Bei der Felsverwitterung kommt diese zwar nur ausnahmsweise in nennenswertem Umfange zur Geltung. Meist sind die Bedingungen nicht sämtlich erfüllt, die erfüllt sein müssen, damit die Nitrat- und Sulfatbildner in Aktion treten können.

Ein interessanter Ausnahmefall liegt bei einem Felsstock im Berner Oberlande, dem „Faulhorn“ vor. Dessen Gestein ist von zahllosen Salpeterbakterien durchsetzt. Unter der Einwirkung der gebildeten Säure hat es eine mürbe, bröcklige Beschaffenheit angenommen. In der Ackererde finden aber die nitrifizierenden Organismen im allgemeinen einen weit zusagenderen Standort. In erster Linie greift die (bekanntlich oft in recht ansehnlichen Mengen entstehende) Salpetersäure jedenfalls die Karbonate an. Doch wird wohl auch die Silikat-Aufschließung zum Teil auf diesem Wege zustande kommen.

Mit der Schwefelsäure — die allerdings nur z. T. ein Produkt der Bakterien-Tätigkeit darstellt — verhält es sich ähnlich. In Wasserbehältern kann sich diese Säure in sehr unerwünschter Weise durch Zerstörung des Zementes bemerklich machen. Man hat auch wiederholt versucht, die mineralischen Bestandteile der Ackererde durch direkte Zufuhr von Schwefelsäure aufzuschließen. Ein Nutzen war selten zu registrieren, aber sehr oft erhebliche Schäden. Fortgesetzte Düngung mit Ammonsulfat führt bekanntlich zu einer Verarmung des Bodens an kohlensaurem Kalk. Desgleichen sei hier an die aufschließende Wirkung der in Form von Gips dem Boden einverleibten Schwefelsäure kurz erinnert.

Daß organische Säuren unter Umständen stark lösend wirken können, lehrt die geringe Haltbarkeit der zuweilen in Sauergruben und Futtersilos angebrachten Zementierung. Auch in Molkereien kann sich die zwischen die Fugen von Kachel-Belägen und an anderen Stellen eindringende säuernde Flüssigkeit recht unangenehm bemerklich machen.

Man wird demnach wohl auch im Boden auf eine Mitwirkung dieser Säuren zu rechnen haben, die indessen immer nur von untergeordneter Bedeutung sein kann.

Schwefelbakterien. Die Schwefelbakterien sind für den Landwirt ebenfalls nur selten von Wichtigkeit. Ihre Mitwirkung am Stoffkreislauf lässt es indessen geboten erscheinen, daß wir wenigstens im Vorübergehen einige Augenblicke auch ihnen unsere Aufmerksamkeit widmen.

Die Umsetzungen, denen der Schwefel in der Natur unterliegt, sind denjenigen des Stickstoffs ziemlich ähnlich. Ein Vergleich der Abbildungen 24 (auf S. 144) und 28 lässt das unschwer erkennen.

Beim Abbau der organischen Verbindungen kommt in beiden Fällen — oft infolge der Einwirkung derselben Mikroben — zunächst die Wasserstoff-Verbindung des Stickstoffs resp. des Schwefels zur Ent-

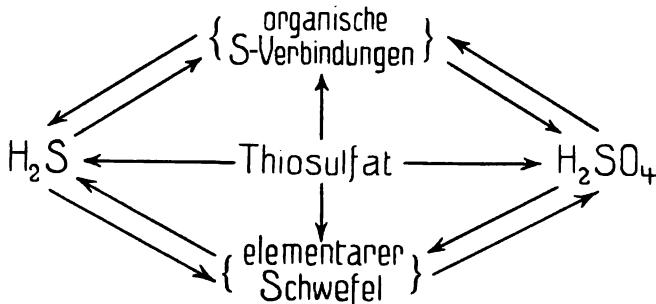
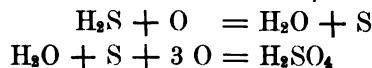


Abb. 28. Schematische Darstellung des Schwefel-Kreislaufes.

stehung. Bei dem sich anschließenden Oxydationsprozeß ist eine Differenz zunächst insofern vorhanden, als dort die Umsetzung vom Ammoniak über Nitrit zu Nitrat, hier dagegen vom Schwefelwasserstoff über Schwefel zu Schwefelsäure fortschreitet, nach der Formel:



Während ferner bei der Nitrit- und bei der Nitratbildung verschiedene Organismen in Tätigkeit treten, liegt bei der Sulfatbildung eine derartige Spezialisierung nicht vor. Ja es gibt sogar eine nicht geringe Zahl von Mikroorganismen, die je nach den Umständen sowohl Schwefelwasserstoff wie Sulfate entstehen lassen können. Ausgiebige Lüftung bedingt, daß beim Abbau der Eiweißstoffe ein ansehnlicher Teil des Schwefels direkt in die zuletzt genannte Form übergeht.

Auch bei den rückläufigen Umsetzungen ergeben sich zahlreiche Analogien. Die Sulfate können zu Schwefelwasserstoff reduziert, oder sie können ebenso wie dieser von neuem in organische Bindung

zurückgeführt, d. h. assimiliert werden. Elementarer Schwefel kann sowohl aus Schwefelwasserstoff wie aus Sulfaten zur Abscheidung gelangen. In beiden Richtungen sind aber auch Rückverwandlungen möglich.

Desgleichen können die Thiosulfate, die bei der freiwilligen Oxydation von Schwefelwasserstoff und Sulfiden entstehen, entweder assimiliert, unter Schwefel-Abscheidung zu Schwefelwasserstoff reduziert oder zu Sulfaten weiter oxydiert werden.

Während aber die verschiedenen Umsetzungen des Stickstoffs fast ausschließlich durch Bakterien und Pilze bewerkstelligt werden, kommen beim Kreislauf des Schwefels neben einer allerdings sehr ansehnlichen Schar von Mikroorganismen rein chemische Prozesse in weit größerem Umfange mit in Betracht. Besonders der in vielen Gärungsprozessen frei werdende Wasserstoff kann (in statu nascendi) sowohl aus organischen Verbindungen, wie aus elementarem Schwefel, aus Sulfiten und aus Thiosulfaten Schwefelwasserstoff entstehen lassen. Bei der Sulfat-Reduktion scheint es sich dagegen ausschließlich um Bakterien-Tätigkeit zu handeln. Andererseits tritt die spontane Oxydation von Schwefelwasserstoff dem Wirken der Sulfatbildner unterstützend zur Seite.

Schwefelwasserstoff- und Ammoniak-Bildung sind beim Abbau der organischen Substanzen auch ursächlich eng miteinander verknüpft. Fast alle Bakterien und Pilze, die man daraufhin geprüft hat, erwiesen sich sowohl als Ammoniak- wie als Schwefelwasserstoff- oder direkt als Schwefelammon-Produzenten — vorausgesetzt, daß sie sich überhaupt an der Zerlegung der organischen Stickstoff- und Schwefelhaltigen Körper beteiligten. Sowohl bei Luftpzutritt wie bei Luftabschluß, bei hoher wie bei niedriger Temperatur treffen wir auf die Spuren ihrer Tätigkeit. Bei der Fäulnis der Eier können sie auch für den Landwirt von einiger Wichtigkeit werden. Allerdings ist — nebenbei gesagt — keineswegs in allen verdorbenen Eiern Schwefelwasserstoff nachweisbar. In den Käsen, speziell in denen geringerer Qualität, kann sich der beim Eiweiß-Abbau in Freiheit gesetzte Schwefelwasserstoff gelegentlich (abgesehen von der Beeinflussung des „Aromas“) dadurch sehr nachteilig bemerklich machen, daß er durch Bildung von Metall-sulfiden zu Mißfärbungen des Käseteiges Veranlassung gibt, über die ich später noch einige Worte zu sagen habe. Auch den im vulkanisierten Kautschuk enthaltenen Schwefel können Bakterien zu Schwefelwasserstoff umsetzen. Milch, die Gelegenheit hatte, neue Gummischläuche an Melkmaschinen u. dgl. zu passieren, nimmt infolgedessen mitunter, und zwar namentlich dann, wenn sie bei relativ hoher Temperatur aufbewahrt wurde, einen geradezu entsetzlichen Geruch und Geschmack nach faulen Eiern an.

An dem für menschliche Nasen wenig erfreulichen Gerüche faulender Stoffe sind übrigens neben Schwefelwasserstoff auch flüchtige organische Schwefel-Verbindungen nicht selten mit beteiligt. Viele Schwefelwasserstoff-Bildner können z. B. auch Merkaptan erzeugen, das seinerseits wieder in Alkohol und Schwefelwasserstoff zerlegt werden kann.

Die Zahl der Sulfat-Bildner ist — im Gegensatz zu den Nitrit- und Nitrat-Bakterien — sehr groß. In der Literatur wird nicht selten die Bezeichnung „Schwefel-Bakterien“ oder „Thiobakterien“¹⁾ speziell für diese Gruppe von Organismen reserviert. Teils sind sie farblos, teils mehr oder weniger lebhaft rot gefärbt. Besonders im Herbst kann man in sumpfigen Wässern reichliche Ansammlungen derartiger „Purpurbakterien“ zu Gesicht bekommen. Beide Gruppen von Sulfatbildnern kann man meist leicht in der Weise anhäufen, daß man etwas von dem schwarzen nach Schwefelwasserstoff riechenden Schlamm aus Wasserlachen, Gräben usw. zusammen mit ein wenig Gips und einigen Wurzelstücken von Wasserpflanzen in einem Glaszylinder mit Wasser übergießt und ruhig stehen läßt. Stellen wir das Gefäß ins Licht, so kommen besonders die Purpurbakterien zur Entwicklung. Im Gegensatz zu fast allen anderen Bakterien werden sie durch das Licht nicht geschädigt, sondern gefördert. Im Dunkeln können wir dagegen — wenn wir für vollkommene Ruhe der Flüssigkeitsschicht sorgen — eine sehr eigenartige Erscheinung, eine „Platte“ von farblosen Schwefelbakterien erhalten, wie sie auf Tafel IX zur Darstellung gebracht worden ist. Wie ich schon in der 3. Vorlesung bemerkte, stellt sich diese Bakterien-„Platte“ oder das „Niveau“ gerade an der Stelle ein, wo die Bakterien sowohl genügend Schwefelwasserstoff wie auch hinreichend Atmungs-Sauerstoff vorfinden. Innerhalb der Platte erfolgt die Oxydation; unter ihr enthält die Flüssigkeit Schwefelwasserstoff, über ihr Schwefelsäure bzw. Sulfate. Die trichter- und zapfen-förmig nach unten hinabtauchenden Bakterien-Ströme scheinen hauptsächlich der ausgiebigen Zufuhr von Schwefelwasserstoff zu dienen.

Bisher sind solche Schwefelbakterien-Platten nur von einem russischen Forscher, M. JEGUNOW, eingehend untersucht worden²⁾. Das zu diesen Studien benutzte Material war Schlamm aus dem Schwarzen Meere. Man hat mehrfach die Meinung geäußert, daß es sich hier um eine ganz spezifische Erscheinung handele, die andernorts nicht nachgeprüft werden könne. Das ist indessen ein Irrtum. Die auf Tafel IX abgebildete „Platte“ wurde z. B. unter Verwendung von Teich-Schlamm aus dem Leipziger Botanischen Garten erhalten. Sicher sind andere Schmutzwässer ebenso reich an derartigen Schwefelbakterien.

¹⁾ Von τὸ θεῖον == Schwefel.

²⁾ Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 2, 1896, S. 11, 411, 478, 739, Bd. 3, 1897, S. 470.



1. Schwefel-Bakterien,
 $\frac{2}{3}$ nat. Grösse.

2. Eisen-Bakterien,
 $\frac{2}{3}$ nat. Grösse.

M. 730 U

In den nach unten hinabtauchenden Vorsprüngen handelt es sich — entgegen einer anderslautenden Vermutung — nicht um die Ausscheidung und das Hinabsinken absterbender und abgestorbener Organismen. Diese Gebilde treten nämlich nur im Dunkeln auf und verschwinden im Licht, wo übrigens auch das Niveau selbst eine bei weitem weniger scharf abgegrenzte Ausbildung zeigt.

Je nach der Stärke des Sauerstoff-Zutrittes steigt und sinkt das Niveau. Ist dem Wasser sehr viel Sauerstoff beigemengt, so ziehen sich die Bakterien in den Schlamm selbst zurück. Dieser erscheint dann, soweit er oxydiert ist, grau (statt schwarz) gefärbt.

Der Oxydation muß naturgemäß, soweit die im Schlamm fast immer vorhandenen Sulfide in Frage kommen, eine Zerlegung in Schwefelwasserstoff und Metallhydroxyd vorausgehen.

Sowohl bei den farblosen wie bei den roten Schwefelbakterien sind alle Formen-Gruppen, soweit sie überhaupt bei den Bakterien vorkommen, in größter Mannigfaltigkeit vertreten. Kugelformen, Kurz- und Langstäbchen, Schrauben, Fadenformen, bewegliche und unbewegliche Arten, allerhand eigenartige Zellverbände usw. hat man in eine stattliche Zahl verschiedener Genera und Spezies verteilt, auf die wir indessen nicht im einzelnen einzugehen brauchen¹⁾. Abb. 29 zeigt uns die Mikroflora in einem Wasser-Tropfen aus unserer Schwefelbakterien-Anhäufungskultur. Besonders auffällig sind neben den großen Vibrionen die langen, dicht mit Schwefel (in Tropfenform) erfüllten Fäden einer sehr häufig vorkommenden, *Beggiatoa* genannten Gruppe von Schwefelbakterien, die oft als weiße, feinfädige Ansammlungen (so auch auf Tafel IX) auf dem schwarzen, Schwefelwasserstoff-haltigen Schlamm schon mit bloßem Auge erkennbar sind.

Wie ich bereits in der 2. Vorlesung (S. 19) erwähnte, sind gerade unter den Schwefelbakterien nicht selten wahre Riesen anzutreffen, von denen man sogar — wie es HINZE mit der dort genannten *Beggiatoa mirabilis* tat — Mikrotom-Schnitte anfertigen kann. Mit dem an jener Stelle ebenfalls angeführten *Achromatium oxaliferum* scheint übrigens die von WEST und GRIFFITH neuerdings unter der Bezeichnung *Hillhousia mirabilis* in die Literatur eingeführte Art identisch zu sein²⁾.



Abb. 29. Mikroskopisches Bild eines Wassertropfens mit Schwefelbakterien (1000fach vergr.).

¹⁾ Wer näheres zu wissen wünscht, sei zunächst auf die betreffenden Ausführungen OMELIAŃSKIS im III. Bande von LAFARS Handbuch der technischen Mykologie verwiesen, ferner auf das Kap. XI in KRUSES Allgemeiner Mikrobiologie, auf Kap. 11 d des V. Abschnittes meines Handbuchs der landw. Bakteriologie sowie auf H. MOLISCH, Die Purpurbakterien (1906) und Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 33, 1912, S. 55.

²⁾ Proceedings of the Roy. Society London [B] Vol. 81, 1909, p. 398; vgl. hierzu MOLISCH, a. a. O. (1912).

Wie die Salpeterbakterien bei der Nitrifikation des Ammoniaks, so gewinnen — wenigstens manche — Sulfatbakterien bei der Oxydation des Schwefelwasserstoffes die Energie zur Assimilation der Kohlensäure. Bei anderen Arten ist dieser Punkt noch fraglich. Immerhin wäre es vielleicht, wie bei den Wasserstoff oxydierenden Bakterien, so auch hier möglich, daß der Kohlenstoff-Bedarf sowohl aus organischen Quellen wie durch Assimilation der Kohlensäure gedeckt werden kann. Manche Arten, zu denen u. a. *Beggiatoa* gehört, verschmähen dagegen die organische Nahrung völlig; sie sind, wie die Nitratbakterien auf die Kohlensäure direkt angewiesen¹⁾.

Übrigens kann der Schwefel auch auf Kosten des gebundenen Sauerstoffes oxydiert werden. Speziell ist diese Umsetzung möglich bei Gegenwart und unter Zerlegung von Nitraten. Wir haben es hier mit einer (durch *Thiobacillus denitrificans* bewirkten) Denitrifikation bei Abwesenheit organischer Substanz zu tun. Aus dem Schwefel entsteht Sulfat und aus dem Nitrat elementarer Stickstoff:



Die Befähigung zur Reduktion des Schwefels zu Schwefelwasserstoff ist bei Bakterien und Pilzen außerordentlich verbreitet. Sulfat-reduzierende Organismen sind dagegen nur erst in sehr geringer Zahl bekannt geworden. Sicher nachgewiesen wurde diese Fähigkeit bisher nur für zwei anaërope Spirillen. Bei Gegenwart organischer Substanzen fällt besonders der Gips sehr leicht der Reduktion anheim. Bei der Stallmist-Konservierung hat man sich hiervon mehrfach überzeugen können. Auch in ungenügend durchlüfteten Böden können Sulfat reduzierende Bakterien in Tätigkeit treten. Da die Wurzeln unserer Kulturpflanzen gegen Schwefelwasserstoff meist recht empfindlich sind, verdient diese Möglichkeit angemessene Beachtung. Die zuweilen in Wasser-Reservoirs, Talsperren usw. auftretende Schwefelwasserstoff-Bildung ist wenigstens teilweise gleichfalls durch Sulfat-Reduktion bedingt.

Aus den Thiosulfaten kann der Schwefel, wie unser Diagramm (S. 192) zeigt, sowohl in organische Bindung wie in Schwefelwasserstoff, in elementare Form oder in Schwefelsäure übergehen. Thionsäure und Polythionate können ebenfalls entstehen. Neben Bakterien treten unter Umständen allerhand Sproß- und Schimmelpilze in Tätigkeit. Die Thiosulfat oxydierenden Bakterien assimilieren die Kohlensäure. Unter Verwendung der bei der Oxydation des Schwefels frei werdenden Energie wird also auch hier von neuem organische Substanz gebildet. Andererseits kann der Schwefel selbst wieder leicht in organische Bindung

¹⁾ KEIL, Beiträge zur Biologie der Pflanzen, Bd. 11, 1912, S. 335.

zurückgeführt werden. Für den Stoffkreislauf sind diese Umsetzungen zweifellos von wesentlicher Bedeutung, namentlich soweit es sich um die Erhaltung des Lebens in Süß- oder See-Wasser handelt. Landwirtschaftlich sind sie allerdings, wie gesagt, ziemlich unwichtig. Die Menge der neu gebildeten Substanz ist, wie bei den Salpeter-Bakterien, verhältnismäßig gering. Auf rund 40 Teile oxydierter Stickstoffs wird bekanntlich nur 1 Teil Kohlenstoff assimiliert. Dieselbe Relation (40 : 1) wurde für den Schwefel-Verbrauch und die Kohlenstoff-Bindung bei Thiosulfat-Bakterien ermittelt¹⁾.

Eisenbakterien. In eisen- und manganhaltigen Wässern, sowie in nassen Böden trifft man nicht selten auf rostartige Absätze, die sich allmählich in Raseneisenstein verwandeln können. Zum Teil entstehen sie sicher ohne Mitwirkung von Mikroorganismen. Namentlich für die sogen. Ortstein-Bildungen mag das die Regel sein. Das im Wasser gelöste Eisen-Bikarbonat geht leicht infolge spontaner Oxydation in Eisen-Hydroxyd über. Bei der künstlichen Enteisenung der Wässer macht man sich diese Tatsache zunutze.

Aber nicht selten sind auch eisen- und manganspeichernde Mikroben an der Bildung derartiger Ablagerungen mit beteiligt. Aus den im Wasser gelösten Metallsalzen schlagen sie die Hydroxyde nieder und deponieren sie in ihren Gallerthüllen. Diese Auflagerungen können so mächtig werden, daß die meist in Form dünner Fäden auftretenden Eisenbakterien darin so gut wie vollkommen verschwinden. Mit der Zeit nehmen die Hydroxyde kristallinische Struktur an. Infolgedessen erscheint dann das betreffende Raseneisenerz durchaus nicht mehr als ein Produkt der Tätigkeit von Mikroorganismen. In Wasserleitungen, Drainröhren usw. können diese Eisen- und Mangan-Ansammlungen so massenhaft auftreten, daß sie den Durchfluß sehr erschweren. Namentlich bei der Wasserversorgung großer Städte sind solche Wucherungen von Eisenbakterien wiederholt zur öffentlichen Kalamität geworden.

Große Massen von Eisenbakterien enthalten auch die ockerfarbigen Ansammlungen in Moor-Entwässerungsgräben. Übergießt man solches Material oder etwas eisenreichen Teichschlamm in einem Glaszyylinder mit Leitungswasser und gibt man dann noch irgend ein Stück alten Eisens hinzu, so siedeln sich nach kurzer Zeit, soweit genügend Sauerstoff in dem Wasser vorhanden ist, hauptsächlich an dem Eisen, aber auch an der Glaswandung usw. die schon dem bloßen Auge als feine Zäpfchen erkennbaren, von einer dicken Rosthülle umkleideten Eisenbakterien an (Tafel IX, Fig. 2). Bei einer Erschütterung des Glases lösen sie sich leicht ab und sinken zu Boden. Auch die auf eisenreichem

¹⁾ LIESKE, Sitzungsberichte d. Akademie Heidelberg, Mathem.-naturw. Klasse [B] 1912, 6. Abhandlung.

Wasser oft sichtbare irisierende Haut verdankt ihre Existenz der Tätigkeit von Eisenbakterien.

Neben den großen fadenförmigen, meist festsitzenden Eisenbakterien, von denen die *Leptothrix ochracea*, die *Gallionella ferruginea* und die *Crenothrix polyspora* die wichtigsten sind, gibt es noch eine große Zahl ähnlich oder anders gestalteter Organismen, die ebenfalls zur Speicherung von Eisen oder Mangan befähigt sind. In Abb. 30 ist das mikroskopische Bild wiedergegeben, das ein Tröpfchen aus dem auf Tafel IX abgebildeten Eisenbakterien-Anhäufungsversuch bei 1000facher Vergrößerung zeigte. Neben den breiten Fäden ist eine ganze Kollektion verschiedener Organismen sichtbar, die gleichfalls körnige Auflagerungen von Eisenhydroxyd tragen. Bei weiter fortgeschrittener Entwicklung treten dann geschlossene Eisenhüllen auf, die den Bakterien-

Durchmesser an Dicke oft um das Mehrfache übertreffen. Neben Bakterien fungieren übrigens auch Pilze und Algen als eisenspeichernde Organismen.



Abb. 30. Mikroskopisches Bild eines Wassertropfens mit Eisenbakterien (1000 fach vergr.).

Über die physiologische Bedeutung der Eisenspeicherung sind die Ansichten geteilt. Sie ist auch zweifellos nicht immer die gleiche. Vielfach wird das Eisenhydroxyd durch humose Substanzen, die als Schutzkolloide wirken, in Lösung gehalten. Werden diese von den Mikroben angegriffen, so fällt notwendigerweise das Eisenhydroxyd aus und wird dann als Inkrustation der Zellwand sichtbar. Ähnlich kann es sich mit organischen und anorganischen Eisensalzen verhalten. Die für den Stoffwechsel wichtigen Säuren werden aufgenommen; das Hydroxyd bleibt als „unverdaulicher Rest“ zurück. Die in dieser Weise tätigen Bakterien und Pilze können naturgemäß bei anderweitiger Deckung ihres Nahrungs-Bedarfes ebenso gut ohne Zufuhr von Eisensalzen gedeihen. In anderen Fällen handelt es sich indessen um Vorgänge von größerer physiologischer Wichtigkeit. Sowohl für Algen wie für Bakterien kann das Eisen-Bikarbonat durch Lieferung von Kohlensäure wichtig werden. Die Oxydation des Oxyduls verschafft den betreffenden Bakterien zugleich die Energie zur Assimilation der Kohlensäure. Manche der hierher gehörigen Eisenbakterien scheinen ausschließlich auf diese Art der Ernährung angewiesen zu sein. Andere kommen dagegen auch sehr gut mit organischer Nahrung und dann also auch ohne Eisen aus¹⁾.

¹⁾ Nach der besonders durch MOLISCH (Die Eisenbakterien 1910) begründeten Ansicht schien die Kohlensäure-Assimilation der Eisenbakterien sehr fraglich. Sie ist in-

Der Abscheidung von Eisenhydroxyd steht eine Bildung löslicher Eisensalze gegenüber. Säurebildende Mikroben können dabei im Spiele sein. Man hat z. B. gelegentlich beobachtet, daß trotz gleichmäßiger Beschaffenheit des Bodens der Eisengehalt der Sickerwässer von den mit verschiedenen Pflanzen bestellten Teilstücken durchaus nicht der gleiche war. Zweifellos kommt die Verrottung der bald in größeren, bald in geringeren Quantitäten zur Zersetzung kommenden Ernte-Rückstände hierbei vornehmlich in Betracht. Große Wurzelmassen, wie sie etwa die Luzerne im Boden hinterläßt, ergeben naturgemäß größere Mengen organischer und anorganischer Säuren, die ihrerseits die Zirkulation des Eisens im Bodens begünstigen müssen.

dessen neuerdings durch LIESKE (Jahrbücher f. wissenschaftl. Botanik, Bd. 49, 1911, S. 91), mit Sicherheit erwiesen worden.

14. Vorlesung.

Pathogene Funktionen der Mikroorganismen. Virulenz und Infektion.
Disposition und Immunität. Impfung, Serum- und Chemotherapie.

Pathogene Funktionen der Mikroorganismen. In einer früheren Vorlesung erwähnte ich bereits, daß die Tätigkeit der krankheitserregenden Mikroben hier ebenfalls kurz geschildert werden soll. Doch bitte ich diese allgemeinen, zur ersten Orientierung bestimmten Darlegungen lediglich als Ergänzung der bisherigen Ausführungen über die Leistungen der Mikroorganismen aufzufassen. Eine eingehende Behandlung dieser Fragen liegt außerhalb des Rahmens der landwirtschaftlichen Bakteriologie. Wer speziellere Angaben wünscht, sei auf die betreffenden Lehr- und Handbücher verwiesen. An erster Stelle dürften die folgenden zu nennen sein:

LEHMANN und NEUMANN, Grundriß der Bakteriologie,
GÜNTHER, Einführung in das Studium der Bakteriologie,
KRUSE, Allgemeine Mikrobiologie, Kap. XVI und XVII,
KOLLE und HETSCH, Experimentelle Bakteriologie und Infektionskrankheiten,
HUTYRA und MAREK, Spezielle Pathologie und Therapie der Haustiere,
DIEUDONNÉ, Immunität, Schutzimpfung und Serumtherapie,
KOLLE und WASSERMANN, Handbuch der pathogenen Mikroorganismen.

Als wir die Bedeutung der Mikroorganismen für den Kreislauf des Stoffes und damit für die Fortdauer des Lebens in der Natur betrachteten, sahen wir, daß die Mikroben im allgemeinen als die „Vermittler zwischen Tod und Leben der höheren Organismen“ aufgefaßt werden können. Und ich hob damals auch schon hervor, daß die krankheitserregenden Bakterien, Pilze und Protozoen sich in dieser Hinsicht gewissermaßen einer Grenzverletzung schuldig machen, indem sie in die noch lebenden höheren Organismen eindringen und deren Ableben durch ihr Wirken sehr oft beschleunigen. Während also andere Mikroben, z. B. die Knöllchenbakterien ihren Wirten, mit denen sie in „Symbiose“ leben, entschieden nützlich sind, handelt es sich bei den eingedrungenen Krankheitserregern stets um ein „antagonistisches“ Verhältnis, um einen Kampf zwischen höheren und niederen Organismen.

So einfach und selbstverständlich diese Auffassung aber auch erscheinen mag, werden gleichwohl sehr oft nicht die richtigen Folgerungen und Nutzanwendungen aus ihr gezogen. Bald wird die eine, bald die andere Seite dieser Doppelerscheinungen allein ins Auge gefaßt. Die notwendige Folge sind schiefe, irrite Ansichten.

Durch die Großtaten ROBERT KOCHS und seiner Schüler wurden die krankheitserregenden Bakterien „modern“. Lange Zeit nahmen sie in der Diskussion die allererste Stelle ein, und ängstliche Gemüter lebten in ständiger Furcht und Sorge vor diesen höchst gefährlichen Organismen.

Mit der fortschreitenden Ausbildung der Hygiene wuchs dann aber das Bestreben und die Hoffnung, durch Stärkung und Schutz der Gesundheit den Angriffen der Bakterien erfolgreich zu begegnen. Durch intensive Anwendung von Wasser, Luft und Licht sollte der Körper in jedem Falle so gestählt und abgehärtet werden, daß er allen Angriffen der Krankheitserreger gewachsen sei. Neben manchem recht erfreulichen Erfolge stellte sich indessen (namentlich in sogen. „Natur-Heilanstalten“) so manches zweifelhafte oder auch gänzlich negative Resultat heraus.

Hygienische Vorbeugungsmaßregeln können eine sachgemäße Bekämpfung der krankheitserregenden Bakterien ebensowenig entbehrlich machen wie diese jene. Es gibt da kein einfaches „Entweder — Oder“. Und es ist entschieden sehr unklug, wenn Landwirte beim Auftreten von Viehseuchen fordern, daß eine in Vorschlag gebrachte Schutzimpfung unter allen Umständen helfen müsse, sonst tauge sie nichts; seien außerdem noch weitläufige Maßnahmen hygienischer Art nötig, dann könne die Impfung auch ganz unterbleiben, die Tiere würden oder blieben dann schon „von selbst“ gesund.

Tatsächlich liegen doch die Verhältnisse hier genau so, wie bei den anderen, bereits besprochenen Leistungen der Mikroben. Nur wenn alle Bedingungen für Leben und Tätigkeit der Bakterien und Pilze gegeben sind, können diese in Wirksamkeit treten. Eine Salpeterbildung im Boden kann nur stattfinden, wenn nicht nur die nitrifizierenden Organismen zugegen sind, sondern auch die chemische und physikalische Beschaffenheit des Ackers ihnen zusagt. Und weder das Saatgut allein, noch allein der richtig zubereitete Saatacker im Verein mit den übrigen Wachstumsfaktoren sind die alleinige und ausreichende „Ursache“ der heranwachsenden Ernte. Erst sämtliche Faktoren vereint bedingen den Effekt. Wenn pathogene Bazillen in einen nicht-empfänglichen Organismus eindringen, so bleibt eine Schädigung der Gesundheit ebenso sicher aus, als wenn von einem an sich empfänglichen Körper alle krankheitserregenden Keime ferngehalten werden. Das Zusammen-

treffen von Infektionserreger und empfänglichem Organismus ist die notwendige Voraussetzung für das Zustandekommen einer Infektion.

Auf der einen Seite handelt es sich also stets um Quantität und Qualität des pathogenen Materials, auf der anderen um die je nach Tierart, Alter, Ernährung und Lebensbedingungen differierende Disposition der Körperzellen. Dringen nicht-pathogene Bakterien — wie es bei ihrer allgemeinen Verbreitung nicht selten der Fall ist — durch kleine oder größere Verletzungen der äußeren Haut oder der inneren Schleimhäute in die Blutbahn ein, so gehen sie unter den hier gebotenen, ihnen nicht zusagenden Existenz-Bedingungen sehr bald zu grunde. Das Blut des gesunden Körpers ist deshalb in der Regel keimfrei.

Anders wird die Sache, wenn sich der eine oder der andere Eindringling den gegebenen Verhältnissen anzupassen versteht und nun beginnt, seinen Stoffwechsel auf Kosten und unter Verwendung des im Wirtsorganismus vorgefundenen Materials weiterzuführen. Auch bei der Zersetzung der tierischen und der pflanzlichen Reste lassen viele der gewöhnlichen Fäulnis-Bakterien eine ganze Anzahl von Verbindungen entstehen, die für den pflanzlichen und den tierischen Organismus giftig sind. Es sind das die Fäulnisalkaloide oder Ptomaine, „Leichengifte“¹⁾.

Die Zahl der zu den Aminen, Ammoniumbasen und Basen unbekannter Konstitution gehörigen Ptomaine ist ziemlich groß²⁾. Die meisten sind aber praktisch nur von untergeordneter Bedeutung. Ziemlich regelmäßig kommen Putreszin (Tetramethylendiamin) und Kadaverin (Pentamethylendiamin) im Käse vor. Für die sogen. „Käsevergiftungen“ sind sie wohl z. T. verantwortlich zu machen. In gleicher Richtung, aber intensiver sollen das Tyrotoxikon und das Tyroxin wirken³⁾. Häufiger dürfte es sich aber bei den Käsevergiftungen um wirkliche Infektionen (mit Coli-Bakterien u. a.) handeln, wie denn auch im übrigen die ältere Auffassung, die einen engen Zusammenhang zwischen Fäulnis und Krankheit annahm, mehr und mehr an Boden verliert. Die echten Bakteriengifte gehören nicht zu den Ptomainen, und die eigentlichen Infektionserreger sterben gerade in faulenden Stoffen ziemlich rasch ab oder verlieren doch ihre pathogenen Fähigkeiten.

Speziell bei Pflanzen ist es in letzter Zeit wiederholt konstatiert worden, daß gewisse Erkrankungen des Gewebes durch eingewanderte Fäulniserreger veranlaßt werden können. Ob auch die typischen Krankheitserreger aus ursprünglich harmlosen Arten hervorgegangen sind, kann selbstverständlich mit Bestimmtheit weder bejaht noch verneint werden. Für diese Annahme scheint aber zu sprechen, daß die Fähigkeit, pathogen zu wirken, das eine Mal rascher, das andere Mal weniger leicht

¹⁾ τὸν πτῶμα = Leichnam.

²⁾ Vgl. die Zusammenstellung in KRUSES Allgemeiner Mikrobiologie, 1910, S. 814 bis 821.

³⁾ ὁ τυρός = Käse, τακτίν = mit dem (vergifteten) Pfeile schießen, durchbohren.

in Verlust geraten kann. Sehr beachtenswert ist auch, daß eine ansehnliche Zahl von Krankheitserregern dem befallenen Organismus in sehr verschiedener Weise schädlich werden kann. Nicht immer kommt ein bestimmtes, scharf umschriebenes Krankheitsbild zustande. Allerhand Entzündungs-, Eiterungsprozesse usw. werden bald in diesem, bald in jenem Organ oder Gewebeteil hervorgerufen. Gerade an diese wenig spezifischen Krankheitserreger schließt sich meist eine ganze Reihe von nicht pathogenen Parallelformen an, die als nahe Verwandte entweder erwiesen werden konnten, oder die doch aller Wahrscheinlichkeit nach als solche anzusehen sind.

Die Erzeugung giftiger resp. schädlich wirkender Substanzen ist jedenfalls das wichtigste Moment der Pathogenität. Außerdem kann eine Störung der normalen Lebensfunktionen des befallenen Organismus allerdings auch in der Weise zustande kommen, daß infolge üppiger Wucherung der eingedrungenen Keime die Gefäße teilweise verstopft bzw. die betreffenden Teile unbrauchbar gemacht werden. Doch sind derartige Fälle relativ selten und diese Erscheinung im allgemeinen nicht als Erklärung heranzuziehen. Auch dort, wo die Bildung von Giften bisher nicht nachgewiesen werden konnte, dürfte doch wohl die rapide Vermehrung der eingedrungenen Keime zu so erheblichen Änderungen und Störungen des Stoffwechsels Veranlassung geben, daß dies für das Leben des infizierten Organismus schwere Schädigungen im Gefolge haben muß.

Was das Leben eigentlich ist, wie es entsteht, wie es sich fortpflanzt und wie es vergeht, das wissen wir ja leider erst nur zu einem sehr kleinen Teile — trotz aller rastlosen Forschung und trotz einer sich bergehoch türmenden biologischen Literatur. Daß man bei dem Versuche, die mannigfachen Krankheitserscheinungen in kausaler Hinsicht zu verstehen und zu erklären, ebenfalls zu allerhand Hypothesen seine Zuflucht nehmen mußte, ist selbstverständlich. Und es ist auch ganz natürlich, daß die Vielgestaltigkeit der Erscheinungen zu einer großen Zahl von Erklärungsversuchen geführt hat. Da speziell in der hier in erster Linie in Betracht kommenden medizinischen Literatur die Verwendung von möglichst vielen, mehr oder weniger schön gebildeten Fremdworten gewissermaßen als nobile officium gilt, so ist es durchaus nicht immer leicht, sich in diesen Dingen zurecht zu finden. Wären diese Fragen lediglich für den Mediziner von Interesse, so könnten wir sie ja unbedenklich auf sich beruhen lassen. Indessen kommen die hierher gehörigen Tatsachen und Hypothesen auch in der nicht-medizinischen Literatur, speziell in den Tageszeitungen, oft, vielleicht auch allzuoft zur Sprache. Die Gewinnung eines leidlich klaren Überblickes über das in Rede stehende Gebiet dürfte nur von Nutzen sein. Der eine oder

der andere Autor hat zwar wohl versucht, zu einer festeren, einheitlicheren Grundlage vorzudringen, von der aus alle diese oft so verwinkelten, schwer zu durchschauenden Probleme gelöst werden könnten¹⁾). Vorläufig harren aber noch sehr viele Fragen der Antwort. Bis auf weiteres bleibt es dabei:

„Denn eben wo Begriffe fehlen,
Da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein.“

Virulenz und Infektion. Ob die Fähigkeit eines Mikroorganismus, pathogen zu wirken, immer auf einer Giftbildung beruht, ist, wie gesagt, noch nicht sicher. Gleichwohl ist es allgemein üblich geworden, jene Eigenschaft als „Virulenz“, d. h. Giftigkeit, zu bezeichnen. Ist der Gebrauch dieses Ausdruckes also schon hier nicht völlig einwandfrei, so ist er, wie ich bei anderer Gelegenheit betonte, dann gänzlich deplaziert, wenn er für nicht-pathogene Organismen (an Stelle von „Wirksamkeit“) verwendet wird. Da besonders in der Verwandtschaft der Milchsäure-Streptokokken und -Mikrokokken wirklich virulente (pathogene) Formen nicht selten sind, so kann gerade hier jene mißbräuchliche Benutzung des Wortes eventuell zu sehr ernsten Mißverständnissen Veranlassung geben.

Wie die anderen Eigenschaften der Bakterien, so ist auch deren etwaige Virulenz bald mehr, bald weniger variabel. Im Experiment ist sie gewöhnlich leichter abzuschwächen als zu steigern. Die den virulenten Tuberkel-, Diphtherie-Bazillen usw. nächststehenden, nicht virulenten („avirulenten“) Formen nennt der Mediziner nicht selten „Pseudo-Tuberkel-“, „Pseudo-Diphtherie-Bazillen“ usw.

Sind Krankheitserreger in einen Organismus eingedrungen, so braucht das, wie gesagt, keineswegs immer zu einer wirklichen Erkrankung zu führen. Die „Invasion“ der Mikroben hat nicht notwendig eine „Infektion“ zur Folge. Diese tritt eben nur dann ein, wenn die Keime zusagende Existenzbedingungen vorfinden.

Bis zum Auftreten der ersten Krankheitserscheinungen verstreicht stets eine kürzere oder längere Frist. Vermehrung und Giftbildung müssen erst genügende Fortschritte machen, ehe die Folgen deutlich wahrnehmbar werden können. Man nennt diesen Zeitabschnitt die Periode der „Inkubation“²⁾.

Im Stoffwechsel der höheren wie der niederen Lebewesen haben Ekto- und Endo-Enzyme wichtige Aufgaben zu erfüllen. In analoger Weise treten die von den Krankheitserregern gebildeten giftigen Sub-

¹⁾ Vgl. u. a. die Vorlesungen über Bakterien von A. FISCHER (2. Aufl., 1903, 24.—29. Vorlesung).

²⁾ incubare = brüten.

stanzen entweder als Endo- oder als Ekto-Toxine in Funktion. Wie dort gibt es auch hier naturgemäß keine ganz feststehende Grenze.

Wenn man von den Bakteriengiften spricht, so sind es in erster Linie die Ekto-Toxine, an die man denkt, wie ja auch die Wirkungen der Ekto-Enzyme weit augenfälliger und im allgemeinen wichtiger sind als die der Endo-Enzyme. Besonders aus den Bouillon-Kulturen des Diphtherie-, des Wundstarrkrampf(Tetanus)- und des Rauschbrand-Erregers sind äußerst heftig wirkende Ekto-Toxine unschwer zu gewinnen¹⁾. Werden sie in den Blutkreislauf eingeführt, so rufen sie die spezifische Erkrankung hervor. Hitze, Belichtung sowie die verschiedenen antibakteriell wirkenden chemischen Substanzen setzen die Wirkung herab oder heben sie auf.

Die Endo-Toxine sind im Gegensatz zu den Ekto-Toxinen nicht spezifischer Natur. Der bakterienfreie Preßsaft oder die abgetötete, zerriebene Bakterien-Masse wirken ziemlich ähnlich, gleichgültig ob sie von Cholera-, Typhus-, Tuberkel-Bazillen, von Eiterkokken oder irgend welchen anderen Keimarten herrühren. Die Verschiedenheit des Krankheits-Bildes wäre hiernach vornehmlich in dem differenten Verhalten der Bakterien selbst beim Eindringen und beim Verweilen im Körper zu suchen. Indessen ist es selbstverständlich keineswegs ausgeschlossen, daß spezifische Substanzen auch noch da aufgefunden werden, wo man sie bisher nicht entdecken konnte.

Von den Endo-Toxinen leiten sich andere, gleichfalls nicht spezifisch wirkende, aber hitzebeständige Stoffe ab, die man als „Bakterien-Proteine“ bezeichnet. Hierher gehört z. B. das aus dem Rotz-Erreger dargestellte „Mallein“. Vermutlich handelt es sich um Spaltungsprodukte der Endo-Toxine.

In manchen Fällen, z. B. beim Milzbrand-Bazillus, ist es trotz eifrigem Suchens bisher nicht gelungen, Ekto- oder Endo-Toxine aufzufinden. Dagegen hat man aus an Milzbrand erkrankten Tieren spezifische Angriffsstoffe, sogen. „Aggressine“ darstellen können. Eine deutliche Gift-Wirkung ist diesen Substanzen nicht eigen. Führt man aber gleichzeitig Bazillen in den Körper ein, so unterstützen sie deren Wirkung sehr merklich. Die Pathogenität vieler Bakterien bringt man mit der Bildung von Aggressinen in Zusammenhang. Ihre eigenartige Funktion werden wir sogleich näher kennen lernen.

Disposition und Immunität. Bietet ein Organismus den pathogenen Keimen geeignete Existenzbedingungen dar, so erweist er sich als zur Erkrankung „disponiert“; im entgegengesetzten Falle ist er

¹⁾ Eine übersichtliche Zusammenfassung der verschiedenen Giftwerte gibt KRUSE in seiner Allgemeinen Mikrobiologie (1910), S. 860. Die Zahlen sind allerdings nicht vollkommen zutreffend, da eine einwandfreie Reindarstellung dieser Gifte bisher nicht gelungen ist.

„immun“. Die Immunität kann entweder absolut, oder sie kann relativ sein. Absolute Immunität liegt vor, wenn die betreffende Tierart als solche gar keine Disposition für eine bestimmte Krankheit aufweist. Z. B. sind die Menschen gegen Rinderpest, Rinder gegen Rotz, Hunde und Katzen gegen Geflügelcholera, wohl alle Tiere gegen Typhus absolut immun. Bei der relativen Immunität ist dagegen die Empfänglichkeit für die betreffende Krankheit individuell verschieden. Das Alter, die Ernährung und die sonstigen Lebensbedingungen steigern die Disposition oder setzen sie herab. Hunger, Erkältung, Überanstrengung und andere die Gesundheit beeinträchtigende Faktoren pflegen den Angriffen pathogener Bakterien erfolgreich vorzuarbeiten.

Die Immunität kann angeboren oder sie kann erworben sein. Im zuletzt genannten Falle handelt es sich entweder um eine dauernde oder um eine vorübergehende Immunität. Sie kann aktiv oder sie kann passiv erworben sein. Aktiv wird sie erworben durch Überstehen der betreffenden Krankheit. Dagegen liegt eine passiv erworbenen Immunität dann vor, wenn der an sich zur Erkrankung disponierte Körper durch Injektion von Blutserum eines aktiv immunisierten Tieres oder durch Einführung von Arzneimitteln resistent gemacht wird.

Entsprechend der zuvor geschilderten Wirkung der Krankheitserreger muß auch die Gegenwirkung des von ihnen befallenen Organismus eine doppelte sein: Die Bakterien selbst müssen bekämpft und abgetötet, andererseits die etwa produzierten Bakteriengifte beseitigt werden.

Die Toxine werden dadurch unschädlich gemacht, daß sie — wie die Säuren durch Basen — durch im Körper gebildete Antitoxine chemisch gebunden werden. Besonders bei der Erwerbung der passiven Immunität spielen diese Gegengifte eine wichtige Rolle.

Zum besseren Verständnis ihrer Wirkung hat man angenommen, daß sowohl die Moleküle der Körperzellen wie diejenigen der Toxine mit aufeinander reagierenden, einander bindenden („haptophoren“) Atomgruppen ausgestattet sind (EHRLICHs Seitenketten-Theorie). Das Toxin wird also zunächst an- bzw. eingelagert. Die eigentliche Vergiftung kommt aber erst dadurch zustande, daß eine zweite, die sogen. „toxophore“ Seitenkette des Toxin-Moleküls auf einen reaktionsfähigen Atomkomplex des betreffenden Zell-Moleküls trifft. Fehlt dieser, so liegt Giftfestigkeit vor. Unter dem Anreiz des gebundenen Toxins bzw. zum Ersatz der durch das Toxin in Anspruch genommenen Seitenkette, können nun aber neue giftbindende Gruppen, sogen. „Rezeptoren“ gebildet und eventuell in das Blut abgesondert werden. Diese im Serum suspendierten Rezeptoren üben, wenn eine ausreichende Menge

solchen Serums einem anderen Organismus einverleibt wird, auch in diesem ihre giftbindende, antitoxische Wirkung aus.

Die Bakterien selbst können vom Organismus bekämpft und beseitigt werden 1. durch geformte Zell-Elemente, die Leukozyten (weiße Blutkörperchen), 2. durch im Blut gelöste bakterizid bezw. bakteriolytisch (Bakterien-tötend resp. Bakterien-lösend) wirkende Substanzen.

Besonders in dem von Natur aus immunen Organismus spielen die Leukozyten als sogen. „Phagozyten“ (d. h. Freßzellen) eine nicht zu unterschätzende Rolle. Sie sammeln sich an den von den Bakterien bedrohten Stellen und nehmen die pathogenen Keime in sich auf, um sie abzutöten und eventuell aufzulösen. Bei mikroskopischer Betrachtung erinnern solche Phagozyten (Abb. 31) sehr an das Aussehen Bakterien

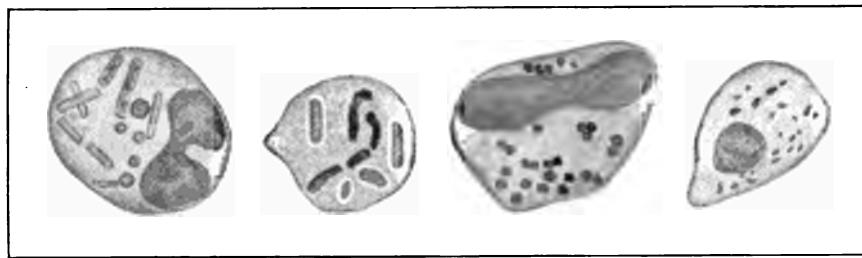


Abb. 31. Phagozyten nach METSCHNIKOFF (a—c) und BORDET (d).

a und b Milzbrand-Bazillen, c Streptokokken, d Erreger der Geflügel-Diphtherie.

fressender Protozoen (vgl. Taf. I, Fig. 16 und Abb. 51). Das Bild ändert sich dagegen, wenn die eingedrungenen Bakterien mit wirksamen Angriffsstoffen (Aggressinen) ausgerüstet sind. Dann unterbleibt entweder die Ansammlung der Leukozyten, oder diese findet zwar statt, es kommt aber nicht zur „Phagozytose“, d. h. die Leukozyten treten nicht als „Freßzellen“ in Aktion.

Die zuerst genannte Erscheinung erklärt man in der Weise, daß man sagt, die Bakterien-Aggressine wirken abstoßend (negativ chemotaktisch) auf die Leukozyten ein. Dagegen bringt man die Lähmung der „Freßlust“ der Leukozyten mit einer „anti-opsoninischen“ Funktion der Aggressine in Zusammenhang. Man geht hierbei von der Voraussetzung aus, daß nur dann Phagozytose stattfindet, wenn spezifische Antiaggressine des Körpers die Aggressinwirkung der Bakterien paralysieren. Diese Antiaggressine des Körpers machen, wie man sagt, die Bakterien den Leukozyten erst schmackhaft; sie sind es, die man als

„Opsonine“ bezeichnet¹). Wenn man also den Bakterien-Aggressinen „anti-opsoninische“ Fähigkeiten zuschreibt, so meint man damit: sie sind imstande, jene „kulinarische Zubereitung“ zu verhindern, die erst die Leukozyten zum Verzehren der Bakterien veranlaßt.

Die im Serum gelösten bakteriziden Substanzen sind 1. die „Alexine“²), ursprüngliche Bestandteile des Serums selbst, 2. die „Plakine“³), bakterizide Ausscheidungen der roten Blutkörperchen, 3. die „Leukine“, bakterientötende Sekrete der weißen Blutkörperchen, der Leukozyten.

Am eingehendsten studiert wurden bisher die Alexine, deren bakteriolytischer Effekt dem Zusammenwirken zweier Atomgruppen zugeschrieben wird; nach der Theorie EHRLICHs den (beiderseits zugreifenden) „Ambozeptoren“, auch Fixatoren oder Zwischenkörper genannt, und den (die Ambozeptoren in ihrer Wirkung ergänzenden) „Komplementen“. Dem Ambozeptor erwächst die Aufgabe, sich einerseits an oder in dem Bakterium zu verankern, andererseits das Komplement zu fixieren. Erst dessen Hinzutreten löst die bakterizide bzw. bakteriolytische Wirkung aus. Wie die als Antitoxine wirkenden Rezeptoren unter dem Einflusse des in den Körper gelangten Toxins, so werden die Ambozeptoren auf den von den betreffenden Bakterien ausgeübten Reiz hin in großer Menge formiert und in das Blut sezerniert.

Führt man statt der Bakterien fremdes Blut in den Körper ein, so bilden sich an Stelle der bakteriolytisch wirkenden Substanzen sogen. „Hämlysine“. Bei der durch sie veranlaßten Auflösung der fremden Blutkörperchen handelt es sich ebenfalls um den gemeinsamen Effekt von Ambozeptor und Komplement.

Durch gelindes Erhitzen des Serums sind die Komplemente relativ leicht zu zerstören. Das Serum ist „inaktiviert“, obwohl die Ambozeptoren erhalten geblieben sind. Fügt man nun eine kleine Menge frisches Serum hinzu, so wird die hämolytische bzw. bakteriolytische Fähigkeit wiederhergestellt.

Diese Tatsachen sind von großer diagnostischer Bedeutung. Mischt man nämlich Blut und inaktiviertes hämolytisches Serum mit den zu prüfenden Bakterien und dem ebenfalls inaktivierten spezifisch bakteriolytisch wirkenden Serum, und fügt man weiter (in Gestalt von frischem Serum) wenig Komplement hinzu, so bleibt die Hämolysen aus, wenn die zu prüfenden Bakterien mit denen artgleich sind, die zur Gewinnung des bakteriolytischen Serums

¹⁾ Abgeleitet von τὸ ϕύον = die Würze (der Speisen), die Zukost (zum Brote).

²⁾ Abgeleitet von ἀλέγεσσν = abwehren.

³⁾ Abgeleitet von ἡ πλάκη (πλακός) = Tafel, Platte, im übertragenen Sinne: das scheibenförmige Blutkörperchen.

dienten. Das Komplement wird von den bereits mit den Bakterien verketteten Ambozeptoren in Anspruch genommen. Handelte es sich dagegen um eine fremde Bakterienart, der gegenüber die betreffenden Ambozeptoren untätig blieben, so tritt das Komplement an die mit den Blutkörperchen verbundenen Ambozeptoren: es tritt Hämolyse ein.

Dieses von BORDET und GENGOU ausgearbeitete Verfahren hat unter dem Namen der WASSERMANNschen Reaktion für die Syphilis-Diagnose große Bedeutung erlangt. Auch bei Cholera, Typhus u. a. ist es mit gutem Erfolge in Anwendung gebracht worden. Da ebenso wie die bakteriolytische auch die hämolytische Wirkung spezifischer Art ist, so wird es — wie nebenbei erwähnt sein mag — durch Verwendung entsprechender Sera auch möglich, irgend welches Blut als Menschen-, Rinder-, Schweine-Blut usw. zu diagnostizieren. Es liegt auf der Hand, daß eine solche Entscheidung namentlich forensisch mitunter äußerst wichtig werden kann. Auch zu allerhand anderen biologischen Reaktionen hat man spezifische Sera mit Vorteil in Anwendung gebracht. Zweifellos wird man in dieser Richtung auch in Zukunft noch manchen Nutzen ziehen.

Die diagnostische Bedeutung der bakteriziden Wirkung der Sera steht also außer Frage. Anders verhält es sich hinsichtlich ihrer Bedeutung für den infizierten Organismus. Die Meinungen gehen hier recht weit auseinander, und es fehlt nicht an Autoren, die den Leukozyten, eventuell in Verbindung mit den Opsoninen den Gesamt-Effekt zuschreiben.

Wie ich bereits bemerkte, hat man auch nach einfacheren Erklärungen gesucht. Speziell hat man der Tatsache eine besondere Bedeutung beigegeben, daß jede Toxin-Einverleibung eine Herabsetzung, jede Antitoxin-Injektion eine Zunahme der Alkalinität des Blutes zur Folge habe, andererseits eine Erhöhung der Alkaleszenz die Resistenz des Organismus steigere und ein Alkali-Zusatz auch das durch Erhitzen inaktivierte Serum reaktivieren kann. Die Alkalinität des Blutes wäre demnach als das vor allem ausschlaggebende Moment ins Auge zu fassen¹⁾. In den Kreisen der medizinischen Bakteriologen hat diese Auffassung kaum Beachtung gefunden. Wenn auch im einzelnen Meinungsverschiedenheiten herrschen, so ist doch die Annahme der Existenz einer Mehrzahl verschiedener Angriffs- und Schutzstoffe so gut wie unbestritten. Und was auch das zukünftige Schicksal der verschiedenen Hypothesen und Theorien sein mag, sicher ist, daß namentlich die soeben geschilderten Erklärungs-Versuche den Fortschritt der Wissenschaft sehr erheblich gefördert haben.

Im Anschluß an das über die bakterizide und bakteriolytische Wirkung der Sera Gesagte möchte ich noch kurz darauf hinweisen, daß bei der Prüfung *in vitro* statt der vollständigen Abtötung und Auflösung der Bakterien nicht selten nur eine vorübergehende Hemmung des Bakterien-Wachstums wahrzunehmen ist. Die vorher in der Nähr-

¹⁾ A. FISCHER, Vorlesungen über Bakterien, 2. Aufl., 1903, S. 339.
Löhniß, Vorlesungen.

lösung frei beweglichen Zellen verquellen, lagern sich in Knäuel zusammen und sinken in Flocken zu Boden. Diese sogen. „Agglutination“ (Verklebung, Ausflockung) spielt im Körper aller Wahrscheinlichkeit nach überhaupt keine Rolle. Dagegen wird ihr für diagnostische Zwecke vielfach eine ausschlaggebende Bedeutung beigemessen. Namentlich ist sie für die sichere Erkennung des Typhus (als „WIDALSche Reaktion“) oft benutzt worden. Neuerdings wird sie auch zur Unterscheidung landwirtschaftlich wichtiger Bakterien-Arten herangezogen. Das Verfahren besteht darin, ein Tier durch Einimpfung der betreffenden Bakterien-Spezies gegen diese aktiv zu immunisieren und weiterhin unter Verwendung dieses Immunserums festzustellen, ob die zu diagnostizierenden Stämme agglutiniert werden oder nicht. In der Tat hat sich recht oft ergeben, daß nur die betreffende, zur Immunisierung benutzte Bakterienart selbst durch das zugesetzte Serum stark agglutiniert wurde. Bei den nächstverwandten Arten ist die Reaktion gewöhnlich schwach, bei fernstehenden bleibt sie aus. Indessen fehlt es nicht an Ausnahmen.

Sowohl biologisch wie morphologisch nicht unterscheidbare Stämme — ja sogar ein und derselbe Stamm unter verschiedenen Bedingungen — können Sera von recht abweichendem Agglutinations-Vermögen liefern, und ebenso ist der umgekehrte Fall möglich¹⁾. Z. B. fand man ein Tetanus-Serum viel wirksamer gegen Typhus als gegen Tetanus, und ein durch Einimpfung von Schimmelpilzsporen erzeugtes Immunserum agglutinierte Typhusbakterien kräftig, Schimmelpilzsporen gar nicht. Vorsicht in der Verwertung der Reaktionsbefunde ist also jedenfalls geboten.

Nach der herrschenden Anschauung handelt es sich auch hier um eine Mehrzahl spezifischer Substanzen (Agglutinine, Präzipitine usw.), nach der anderen Meinung wiederum um die Herabsetzung der Alkaleszenz und die dadurch bedingte Ausfällung des im Serum gelösten Globulins²⁾.

Impfung, Serum- und Chemotherapie. Ich sagte vorhin, daß die aktive Immunität gegen eine Infektions-Krankheit durch das Überstehen dieser Krankheit erworben werden kann. Leider ist dies jedoch durchaus nicht immer der Fall, wie ja z. B. von der Influenza, der Gonorrhoe u. a. allgemein bekannt sein dürfte. Außerdem müssen wir als weitere unerwünschte, aber unabänderliche Tatsache im Gedächtnis behalten, daß die infolge einer Erkrankung erworbene Immunität durchaus nicht immer einen dauernden, sondern nur allzu oft lediglich einen vorübergehenden Schutz verleiht. Es sei in dieser Hinsicht speziell an die Verhältnisse bei der Maul- und Klauenseuche erinnert.

Nicht minder wichtig — zudem aber sehr willkommen — ist andererseits der Umstand, daß die Immunität gegen die betreffende Krankheit auch dann erworben wird (vorausgesetzt, daß dies überhaupt möglich ist),

¹⁾ KRUSE, Allgemeine Mikrobiologie, 1910, S. 1088; LEHMANN und NEUMANN, Grundriß der Bakteriologie, 5. Aufl., 1912, S. 135.

²⁾ A. FISCHER, a. a. O. S. 343.

wenn die Erkrankung nur relativ geringfügig war. Von diesem Prinzip wird z. B. bei der Pocken-Schutzimpfung Anwendung gemacht, deren Entdeckung wir EDWARD JENNER zu verdanken haben. Durch Einführung virulenter Kälber-Lymphe wird eine in der Regel ganz unerhebliche lokale Erkrankung an Rinder-Pocken hervorgerufen, die dann für eine Reihe von Jahren Schutz gegen die weit gefährlicheren Menschen-Pocken verleiht. Ebenso ist eine aktive Immunisierung gegen Milzbrand dadurch ausführbar, daß man den betreffenden Tieren Milzbrand-Bazillen einimpft, deren Virulenz durch geeignete Maßnahmen bei der Züchtung hinreichend abgeschwächt worden ist.

Bei allen derartigen Schutzimpfungen kann die erwünschte Immunität naturgemäß erst nach einiger Zeit erreicht werden, eben erst dann, wenn im Organismus die erforderlichen Schutz-Einrichtungen gebildet worden sind.

Aber auch nach dem Ausbruche mancher Infektions-Krankheiten ist es eventuell noch möglich, die Immunität rasch herzustellen. Man unterstützt in solchen Fällen den Kampf des Körpers gegen die Bakterien und deren Toxine dadurch, daß man ihm Serum eines gegen die betreffende Krankheit (durch Einimpfung immer virulenter Bakterien) hochgradig immunisierten Tieres einspritzt. Eine sehr große Rolle spielt diese passiv erworbene Immunität bekanntlich bei der Bekämpfung der Diphtherie. Diese ehemals außerordentlich gefürchtete Krankheit hat durch die von BEHRING eingeführte Serum-Therapie viel von ihrem Schrecken verloren. Die großen Hoffnungen, die man auch bei der Bekämpfung anderer Infektions-Krankheiten auf die Serum-Therapie setzte, haben sich dagegen nur zu einem relativ kleinen Teile erfüllt. Entschieden nützlich hat sich das Verfahren namentlich noch bei der Heilung von an Rotlauf erkrankten Tieren erwiesen. Sollen gesunde Tiere gegen Rotlauf geschützt werden, so verbindet man die Serum-Behandlung mit der aktiven Immunisierung durch eine nachfolgende Einimpfung virulenter Rotlaufbakterien. Im übrigen ließen die Resultate der Serum-Therapie viel zu wünschen übrig. Man war infolgedessen genötigt, andere Wege aufzusuchen.

Eine sowohl bei der aktiven, wie bei der passiven Immunisierung unter Umständen in Betracht kommende, eigenartige Neben-Erscheinung ist die sogen. „Anaphylaxie“¹⁾. Werden irgend welche Eiweiß-Stoffe, nicht etwa nur Bakterien-Leibessubstanz oder Bakterien-Gifte, in kurzen Zeitabständen wiederholt in die Blutbahn eingeführt, so wirkt nicht selten die zweite Einführung — auch wenn sie sehr gering bemessen ist — tödlich. Man sagt, die zuerst eingespritzte Dosis hat den Körper gegen die in Frage kommende Substanz anaphylaktisch, überempfindlich gemacht, sie hat ihn „sensibilisiert“.

¹⁾ Zusammengezogen aus ἀνά (im Sinne von „hinauf“) und φύλαξτος (ungeschützt) = verstärkte Schutzlosigkeit, Über-Empfindlichkeit.

Wird die zweite Injektion überstanden, so ist „Anti-Anaphylaxie“ erreicht; weitere Injektionen schaden nun nicht mehr.

Nachdem es EHRLICH gelungen ist, in Gestalt seines „Salvarsan“ ein spezifisch wirksames chemisches Präparat für die Syphilis-Bekämpfung zur Verfügung zu stellen, ist es die Chemotherapie, von der man viel, wenn nicht alles Heil erwartet. Schutzimpfung, Serum- und Chemotherapie stehen indessen einander keineswegs so fern, wie es vielleicht auf den ersten Blick erscheinen mag. Stets handelt es sich darum, den Organismus mit Substanzen zu versorgen — sei es, daß deren Bildung im Körper selbst angeregt wird, sei es, daß die betreffenden Stoffe direkt zugeführt werden — die eine antagonistische Wirkung auf die pathogenen Mikroben und deren Gifte ausüben. Neben Antitoxinen, Alexinen, Phagozyten, Opsoninen usw. gibt es naturgemäß eine sehr große Zahl anderer Substanzen organischer und anorganischer Herkunft, die den pathogenen Organismen schädlich werden können. Z. B. gehören hierher eine ganze Reihe von Enzymen und von Stoffwechselprodukten anderer Bakterien. Auch im Reiche der kleinsten Lebewesen tobt ja ein unaufhörlicher Kampf ums Dasein. Eine nicht unwichtige Leistung der Darmbakterien erblicken verschiedene Autoren gerade darin, daß deren Stoffwechselprodukte dem Wirtsorganismus eine gewisse Immunität gegen pathogene Bakterien verleihen, indem sie die Zusammensetzung der Körpersäfte in einem für die Infektions-Erreger ungünstigen Sinne beeinflussen. Selbstverständlich kann mit chemischen Substanzen dasselbe erreicht werden. Es handelt sich nur darum, so wie es bei der Syphilis-Therapie (allerdings erst nach sorgfältiger Durchprüfung von nicht weniger als 606 Präparaten!) gelungen ist, solche Substanzen aufzufinden bzw. darzustellen, die als möglichst intensiv wirkende spezifische Bakterien- resp. Protozoen-Gifte fungieren, zugleich aber für den infizierten Organismus möglichst harmlos sind. Ohne erhebliche Schädigung des Körpers sollen sie in diesem eine gründliche Innen-Desinfektion bewirken.

Welche vielleicht ungeahnten Fortschritte uns aber die Zukunft auch an derartigen Methoden bringen mag, mögen sie auf dem Gebiete der Chemotherapie, der Serumtherapie oder der Schutzimpfung liegen, niemals werden dadurch die hygienischen Maßnahmen überflüssig werden. Mit Rücksicht auf die eingangs gegebenen Darlegungen brauche ich das nicht nochmals auseinanderzusetzen. Auch in aller Zukunft wird Vorbeugen stets leichter und besser sein als Heilen.

15. Vorlesung.

Futtermittel-Bakteriologie: Keimgehalt der Futtermittel. Mitwirkung von Mikroorganismen bei der Heu- und bei der Sauerfutter-Bereitung. Das Verderben von Futtermitteln. — Die Beteiligung von Bakterien am Verdauungsprozeß.

Keimgehalt der Futtermittel. In den voraufgegangenen Vorlesungen haben wir uns einen allgemeinen Überblick über Eigenarten und Leistungen der Mikroben verschafft, soweit diese für den Landwirt bedeutungsvoll sind. Wir wenden uns nunmehr den spezielleren Fragen aus dem Gebiete der landwirtschaftlichen Bakteriologie zu.

In der 6. Vorlesung habe ich bereits darauf hingewiesen, daß wir es im landwirtschaftlichen Betriebe wie mit einem sich stetig erneuernden Kreislauf des Stoffes so auch mit einem fortwährenden Kreislauf der Mikroben zu tun haben. Es ergibt sich von selbst, daß wir am besten tun werden, bei unseren weiteren Betrachtungen diesem Kreislaufe zu folgen. Wir werden so am deutlichsten sehen, wie alle die mannigfaltigen Erscheinungen sich gegenseitig bedingen und voneinander abhängig sind. Anfang und Endpunkt des Kreislaufes liegt, wie wir wissen, im Boden. Gerade hier handelt es sich aber um so äußerst zahlreiche und verwickelte Vorgänge und zudem auch um noch so viele ungelöste Fragen, daß es entschieden angezeigt ist, wenn wir erst in den letzten Vorlesungen der Bakteriologie des Bodens näher treten. Beginnen wollen wir dagegen mit der Bakteriologie der Futtermittel. Es handelt sich hier um relativ einfache Dinge.

Über den Keimgehalt der Futtermittel habe ich schon einige kurze Angaben gemacht, als ich von der Verbreitung der Mikroorganismen sprach. Ich erinnere daran, daß die auf dem Felde wachsenden Pflanzen regelmäßig mit einem fast zusammenhängenden Bakterien-Belag bedeckt sind, der sich zwar z. T. aus den mit dem Staube aufgewehten Keimen zusammensetzt, in der Hauptsache aber durch Vermehrung gewisser, wenig anspruchsvoller Arten auf der Pflanze selbst entsteht. Das tritt dann besonders deutlich hervor, wenn man irgend welche Samen in einem sterilisierten Keimbett zur Ent-

wicklung bringt. Z. B. ermittelte DÜGGELI bei entsprechenden Versuchen¹⁾:

an den Samen (pro Stück)	3000—80 000 Keime
„ „ daraus erwachsenen Keimlingen $\frac{1}{4}$ — $\frac{19}{4}$ Millionen „ .	

Auch im Innern der Samen sind nicht selten Bakterien und Pilze vorhanden. Sie können sowohl bei Keimprüfungen recht lästig werden, wie sie auch (besonders bei Leguminosen-Samen) die Keimkraft mitunter sehr erheblich schädigen können.

Bei der Aufbewahrung des Futters kommt es je nach den Umständen zu Vermehrungen oder zu Verminderungen des Keimgehalts. Besonders hohe Zahlen findet man gewöhnlich in dem sich erwärmenden Heu und in dem frisch eingesäuerten Futter. Ich komme sogleich näher hierauf zu sprechen. Je länger die Aufbewahrung von Heu, Stroh, Sauerfutter usw. dauert, um so mehr wird die Keimzahl sinken. Natürlich können aber auch Neu-Infektionen (durch auffallenden Staub usw.) im entgegengesetzten Sinne ihren Einfluß geltend machen.

Eine wesentliche Bedeutung kann allen diesen Zahlen nicht zugekannt werden. Zahl und Art sind für uns ja immer nur insofern von Interesse, als die Leistung der Mikroben von ihnen abhängt. In den Futtermitteln handelt es sich aber gerade meist um halbtote, eventuell im Zustande der Trockenstarre befindliche und auch sonst meist wenig wirksame Organismen. Lediglich zur allgemeinen Orientierung will ich hier noch die Grenzwerte anführen, die verschiedene Autoren für je 1 g der nachstehend genannten Stoffe ermittelten. Selbstverständlich war die Zahl der wirklich vorhandenen Keime in jedem Falle größer als die beobachtete. Ich habe früher ausführlich dargelegt, daß und weshalb es niemals möglich ist, vollkommen zutreffende Angaben in dieser Richtung zu machen. Es wurden an Bakterien und Pilzen in Millionen pro g gezählt:

Grünfutter	2—200	Getreidesamen	0,1—12
Heu	7—17	Ölkuchen und -Mehle	0,01—20
Stroh	10—400		

Schwitzendes Heu und frisches Sauerfutter können einige Milliarden Keime pro g enthalten (s. u.).

Von den dem Futter anhaftenden Pilz- und Bakterien-Arten verdienen einige eine kurze Erwähnung, da sie sich zuweilen in erwünschter, mitunter auch in unerwünschter Weise im Betriebe bemerklich machen.

Am Grünfutter und an sonstigen frischen Pflanzenteilen trifft man gewöhnlich in erster Linie stark Schleim-produzierende Farbstoff-

¹⁾ Diese, wie die weiterhin folgenden Belege finden sich, soweit sie bis 1909 veröffentlicht wurden, zusammen mit der übrigen Literatur und meist ausführlicher zitiert in meinem „Handbuch der landwirtschaftlichen Bakteriologie“.

bildende Kurzstäbchen, und zwar neben *Bact. fluorescens* besonders häufig ein gelb oder rot wachsendes *Bact. herbicola*. An Grünmalz entwickelt es sich gelegentlich in solchen Massen, daß es schon dem bloßen Auge als gelblicher oder rötlicher Schleim sichtbar wird. Recht zahlreich finden sich ferner (speziell an den auf mit Stallmist gedüngten Flächen erwachsenden Pflanzen) die Darm-Milchsäure-Bakterien *Bact. coli* und *Bact. aërogenes*. Dagegen sind die „echten“ Milchsäure-Bakterien, d. h. die Milchsäure-Streptokokken und die Laktobazillen weniger regelmäßig vorgefunden worden. Im Hinblick auf die in den Sauergruben und Futter-Silos sich abspielenden Prozesse ist dieser Punkt besonderer Beachtung wert. Sporenbildner, vor allem Heu- und Kartoffel-Bazillen, anaërobe Buttersäure-Bakterien, Zellulose- und Pektin-Zersetzer sind nicht selten. Sie sind es, die der Erhitzung in den Diffuseuren der Zuckerfabriken standhalten und dann in den zur Einsäuerung bestimmten Diffusions-Rückständen höchst unerwünschte Umsetzungen auslösen.

Ebenso wie die Rüben sind auch die Kartoffeln mit einer großen Menge der verschiedenartigsten Keime besetzt. Wegen der überaus zahl- und artenreichen Mikroflora des Bodens ist das ja nicht anders zu erwarten. Fäulnisreger, Schleimbildner usw. sind stets zugegen. Sobald ihrem Wirken günstige Bedingungen gegeben sind, treten sie in Aktion.

Erwähnung verdienen auch die an Gras, Stroh usw. mehrfach nachgewiesenen „Pseudo-Tuberkelbazillen“, die zuweilen geradezu als „Graspilze“ bezeichnet werden. Es handelt sich hier um Formen, die gewisse, bei der mikroskopischen Untersuchung hervortretende Eigenheiten besitzen, die früher als das Charakteristikum des echten Tuberkelbazillus angesehen wurden. Solange man glaubte, in Milch, Butter, Käse usw. einfach mit Hilfe des Mikroskopes die etwa vorhandenen Tuberkelbazillen feststellen zu können, haben jene „Graspilze“ zu manchem Fehlschluß Veranlassung gegeben.

Eine Zeitlang war man der Ansicht, entweder aus dem Pilz- oder aus dem Bakterien-Gehalt der Kraftfuttermittel, speziell bei den Rückständen der Ölgewinnung, Schlüsse auf deren Qualität ziehen zu können. Auch das hat sich als ein Irrtum erwiesen.

Die Mitwirkung von Mikroorganismen bei der Heu- und bei der Sauerfutter-Bereitung. Da die Anwesenheit der Mikroben eine einfache Aufbewahrung von Grünfutter usw. nur für eine verhältnismäßig sehr kurze Zeit zuläßt, so hat man Wege aufzusuchen müssen, auf denen eine Konservierung dieser leicht verderblichen Stoffe möglich wird. Es sind dies: das Trocknen und das Einsäuern. Im ersten Falle werden die Keime teils getötet, teils durch Versetzung in den Zustand

der Trockenstarre unschädlich gemacht. Im zweiten Falle soll die entstehende Säure alle Schädlinge (Fäulnis-Bakterien usw.) im Schach halten.

Bei der Trocknung des Grünfutters, also bei der sogen. Dürrheu-Bereitung, handelt es sich jedoch nicht allein darum, daß die Mikroorganismen sozusagen „auf das Trockene gesetzt werden“. Es sollen auch gewisse Umsetzungen vor sich gehen, die auf die Schmackhaftigkeit und die Bekömmlichkeit des Futters günstig einwirken. Rasch im Laboratorium oder im Trocknungs-Apparat getrocknetes Material ist weniger aromatisch und den Tieren weniger zuträglich als auf natürlichem Wege gewonnenes Heu. Die Aroma-Bildung ist auf Glykosid-Spaltung zurückzuführen. Außerdem findet stets eine leicht nachweisbare Produktion von Kohlensäure statt, die anzeigt, daß in den trocknenden Pflanzenteilen ziemlich lebhafte Atmungsprozesse vor sich gehen. Auch bei günstigen Witterungsverhältnissen ergibt sich (bei Ausschluß aller Verluste an Blättern usw.) eine Verringerung der Trockensubstanz um etwa 10 %. Bei diesen Umsetzungen handelt es sich indessen entweder überhaupt nicht oder doch nur in ganz untergeordnetem Grade um die Tätigkeit von Bakterien und Pilzen. Fast oder ganz ausschließlich haben wir es hier mit der Atmung der überlebenden Pflanzenzellen und den Leistungen der in ihnen enthaltenen Enzyme zu tun. Die Hauptverluste finden — wie durch eingehende Untersuchungen FR. FLEISCHMANN¹⁾ festgestellt worden ist — dann statt, wenn der Wassergehalt etwa 65—53 % beträgt. Ist er bis auf ca. 38 % gesunken, so hören sie auf. Nur dann treten Pilze und Bakterien in Tätigkeit, wenn ungünstige Witterung das Einernen des Heues unmöglich macht und die Pflanzenzellen selbst in dem halbtrockenen Material größtenteils abgestorben sind. Den Hauptverlust erleiden naturgemäß die Kohlenhydrate. In den von FLEISCHMANN untersuchten Fällen beliefen sie sich insgesamt auf 7—29 %. Im einzelnen gerieten in Verlust:

Saccharose . . .	22—87 %	Dextrin	0—45 %
Dextrose . . .	27—88 %	Stärke	2—28 %

Auch der Gehalt an Rohfett sank um 10—40 %. Vom Eiweißstickstoff wurden bei günstigem Wetter 10, bei ungünstigem 20—40 % in Amidform übergeführt. Die organischen Phosphor-Verbindungen verminderten sich um 7—29 %, die (anorganischen) Phosphate nahmen bis um 40 % zu. Das Lezithin blieb zunächst unzersetzt; sobald aber, namentlich während des „Schwitz“-Prozesses, den Bakterien Gelegenheit zu lebhafterer Tätigkeit gegeben war, wurde es ebenfalls zum größten Teile zerlegt.

¹⁾ Landwirtschaftliche Versuchsstationen, Bd. 76, 1912, S. 237—447.

Der Gehalt an Rohfaser blieb fast unverändert. Indessen ist zu berücksichtigen, daß diese Versuche ausschließlich in der Weise durchgeführt wurden, daß man hier das Gras in ausgebreitem Zustande der Trocknung überließ. Es ist aber bekannt, daß es für die Qualität des entstehenden Heues sehr günstig ist, wenn man das Material rechtzeitig (in noch von der Sonne erwärmtem Zustande) in erst kleinere, dann größere Haufen aufschichtet. Solches Heu erhält dadurch eine mürbere, die Verdaulichkeit erhöhende Beschaffenheit. Nach älteren, von HOLDEFLEISS angestellten Untersuchungen wurden unter solchen Bedingungen die Rohfaser um ca. 12, die Pentosane um ca. 30% vermindert.

Diese „Vorgärungen“ während der Heu-Bereitung sind auch aus dem Grunde nützlich und bedeutungsvoll, weil dann eine allzu starke Erhitzung des Heues nach der Einerntung ausgeschlossen ist. Als ich in der 9. Vorlesung von der unter Umständen bis zur Selbst-Entzündung fortschreitenden Selbsterwärmung des Heues sprach, wies ich bereits auf diesen (bisher meist nicht genügend beachteten) Punkt hin. Sind die leicht zersetzbaren Substanzen vorher verschwunden, so können die das „Schwitzen“, also das Warm- und Feuchtwerden des Heues veranlassenden Atmungsprozesse der Mikroben keinen allzu großen Umfang annehmen. Es ist stets besser, das Heu auch bei unsicherer Witterung, und dann am besten auf Trocken-Gerüsten (Reitern, Heinzen usw.), auf der Wiese zu belassen, als es in einem Zustande aufzuspeichern, der mit ziemlicher Sicherheit zu einer starken und natürlich auch sehr verlustreichen Selbsterhitzung führen muß.

Das mäßige „Schwitzen“ des Heues ist dagegen von besonderem Vorteil. Es findet dabei jene, uns schon bekannte „Selbst-Sterilisierung“ des Heues statt (s. S. 107), die für dessen Bekömmlichkeit nur von Vorteil ist. In den ersten Tagen vermehren sich die vorhandenen Keime ungemein stark, weiterhin aber sterben sie zum allergrößten Teile ab. Z. B. ermittelte DÜGGELI für gut geerntetes, nur mäßig schwitzendes Heu folgende Keimzahlen in Millionen pro g

am 1. Tage	am 7. Tage	nach 14 Tagen
18	2400	6

Daß man Heu, das noch nicht ausgeschwitzt hat, nicht gern verfüttert, hat somit seinen guten Grund. Nach Ablauf dieser Periode (etwa nach 4—6 Wochen) sind gewöhnlich nur noch ein paar Bazillen im Sporenzustande vorhanden, die bedeutungslos sind.

Feucht geerntetes Heu neigt gern zum Verschimmeln. Durch Einstreuen von etwa 1% Salz kann sowohl der Entwicklung von Schimmelpilzen wie einem allzu lebhaften Bakterienwachstum erfolgreich entgegen gearbeitet werden. Steigt die Temperatur im Heustock zu hoch an, so darf das Heu nicht oder nur sehr vorsichtig (eventuell

unter Besprengen mit Wasser) auseinander genommen werden, denn der Zutritt von Luftsauerstoff kann ja gerade zur Selbst-Entflammung Veranlassung geben. Besser ist es, unter Verwendung von Gasrohren Salzlake oder komprimierte Kohlensäure, die jetzt schon fast in jeder Dorfschenke zu finden ist, in die gefährdeten Teile des Heu-Vorrates einzuleiten.

Bei der Braunheu-Bereitung bringt man das Futter im abgewelkten Zustande, d. h. mit etwa 45% Feuchtigkeit (aber frei von Tau und Regen) zusammen und benutzt die hier naturgemäß ziemlich lebhaft vor sich gehenden Umsetzungen zur Konservierung. Die Trockensubstanz nimmt meist um 15, eventuell aber bis um 30% ab. Neben den Stickstoff-freien Extraktstoffen erfährt auch die Rohfaser starke Verminderungen (um 20—30%). Aus den Eiweißstoffen entstehen z. T. Amide und Ammoniak, aus den Kohlenhydraten organische Säuren. Soweit diese flüchtig sind, bedingen sie zusammen mit dem Ammoniak, mit Spuren von Alkohol und Aldehyden das spezifische Aroma des Braunheues. Die Konservierung beruht teils auf dieser Säure-Bildung, teils auf der durch die meist auf 60° C ansteigende Selbst-Erhitzung veranlaßten Selbst-Trocknung. Damit die Temperatur-Erhöhung und zugleich die Verluste nicht allzu groß werden, sollte man das zu Braunheu zu verarbeitende Material immer nur in mäßig große Haufen (von etwa je 2—3 Fuhren) aufschichten.

Dem Braunhen sehr nahe steht das sog. Grün-Preßfutter oder die „Süß-Ensilage“, für die einige Zeit lang große Begeisterung herrschte. GOFFART in Frankreich, MILES in Amerika und viele andere Schriftsteller konnten diese Sache gar nicht genug rühmen. Namentlich Grün-Mais, aber auch alles andere Grünfutter sollte dadurch, daß man es in bestimmter Weise in Silos oder in Preßfeimen aufschichtete, durch rasche Selbst-Erhitzung auf 50—70° C vor allen Zersetzungsvorgängen geschützt werden. Sogar die Säure-Bildung sollte unterbleiben; daher der an zweiter Stelle genannte Name. Besonders die nordamerikanischen Versuchsstationen haben sich dieser Frage sehr angenommen, und die Futter-Silos sind seitdem gewissermaßen zum Charakteristikum der amerikanischen Farmen geworden. Die Mais-Silage ersetzt hier fast vollständig die in den europäischen Landwirtschafts-Betrieben während des Winters verfütterten Rüben.

Wenn aber auch jetzt noch in deutschen landwirtschaftlichen Büchern und Zeitschriften von Zeit zu Zeit jene Silage als „süße Ensilage“ in Erinnerung gebracht oder gar den Grünfutter-Pressen von neuem das Wort geredet wird, so hat man es leider versäumt, auf die z. T. recht teuer erkauften, neueren Erfahrungen Rücksicht zu nehmen. Man ist tatsächlich — auch in Amerika — längst davon abgekommen, den Prozeß

derart zu leiten, daß die Temperatur auf 50 oder gar auf 70° C ansteigt. 25—30° C gilt als die günstigste Temperatur und eine kräftige Säuerung als durchaus notwendig. Die jetzt in Amerika geübte Futter-Konservierung unterscheidet sich von der in Europa seit Jahrhunderten üblichen Einsäuerung lediglich dadurch, daß hier das Material meist in Erdgruben eingebracht wird, dort dagegen in Silos, die am besten aus Holz hergestellt werden.

Stets ist in Sauerfutter und Silage in den ersten Tagen eine rapide Keimvermehrung nachweisbar. Zahlen von 1000 Millionen pro g sind nicht selten. Durch starke Belastung sorgt man dafür, daß die Umsetzungen möglichst anaerob verlaufen und der Kohlenstoff-Abbau somit zu reichlichen Mengen organischer Säuren führt. Statt der erwünschten Milchsäure kommt es leider oft zur Produktion großer Mengen von Essig- und von Buttersäure, die den Tieren das Futter wenig angenehm machen. Außerdem entstehen geringe Quantitäten von Alkohol, die Eiweißstoffe werden teilweise zu Amiden und Ammoniak abgebaut, nicht selten greift auch eine ziemlich intensive Zellulose- und Pektinzerersetzung Platz. Die Verluste an Trockensubstanz stellen sich im günstigen Falle auf etwa 10%, steigen aber, infolge der oft einsetzenden „wilden“ Gärung nicht selten auf 20—25% und darüber an. Bei nicht sachgemäßer Leitung der Säuerung ist eine weitgehende Entwertung des Futters unvermeidlich.

An der Storrs Agricultural Experiment Station im Staate Connecticut haben W. M. ESTEN und C. J. MASON eine Reihe von Jahren hindurch die Vorgänge sehr eingehend studiert, die sich in dem in den Silo gebrachten Mais oder anderem Grünfutter abspielten¹⁾. Die in Abb. 32 wiedergegebenen Kurven zeigen deutlich das rasche Anwachsen der Zahl der säurebildenden Bakterien, den sehr allmählichen Anstieg des Säuregrades sowie die nur geringe Erhöhung der Temperatur.

Wird Grünfutter eingesäuert, so sind in erster Linie die Pflanzenzellen bzw. deren Enzyme für die stattfindenden Umsetzungen verantwortlich zu machen. Doch treten Bakterien und Hefen gleichzeitig in Aktion. In zuvor abgetötetem Material, wie es in den Diffusions-Rückständen vorliegt, haben sie alles zu leisten. Gerade hier fehlt es aber in der Regel an den nützlichen Milchsäure bildenden Bakterien, und nur allerhand Schädlinge, Buttersäurebakterien, Zellulosezersetzer usw. haben (im Sporen-Zustande) die Erhitzung in den Diffuseuren der Zuckerfabriken überstanden. Kein Wunder, daß solches Sauerfutter fast wertlos ist. Es heißt aber „das Kind mit dem Bade ausschütten“, wenn man mit Rücksicht auf solche Mißerfolge jetzt nur in der maschinellen

¹⁾ Storrs Agric. Exp. Station Bulletin 70, 1912.

Trocknung alles Heil erblickt. Sicher können hier die Verluste auf ein Minimum herabgedrückt werden. Wie aber das in altüblicher Weise gewonnene Dürrheu trotz der notwendigerweise eintretenden Verluste als Futter dem künstlich getrockneten Grase deutlich überlegen ist, so ist auch gutes Sauerfutter sowohl in dieser Hinsicht wie auch mit Rücksicht auf den Kostenpunkt sehr der Beachtung wert.

Allerdings genügt es nicht, wie es bisher fast stets geschah, nur für feste Lagerung des Materials, für möglichst undurchlässige, von Grundwasser freie Gruben sowie für ausgiebige Erdbedeckung zu sorgen.

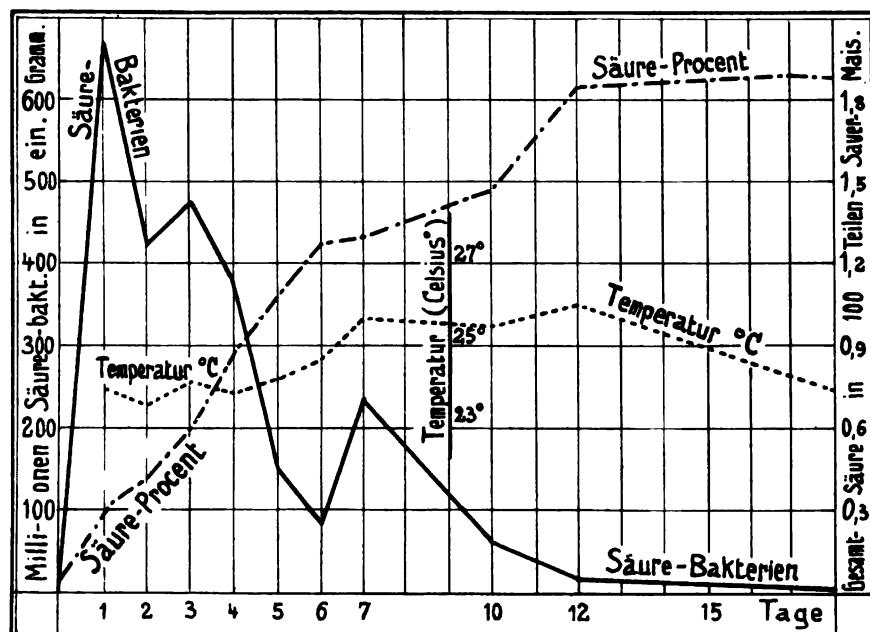


Abb. 32. Säure-Bakterien, Säure-Bildung und Temperatur in Sauer-Mais, nach ESTEN und MASON.

Die nützlichen Mikroben werden dadurch zwar begünstigt, aber die schädlichen Buttersäure-Bakterien, Zellulose-Zersetzer usw. keineswegs ausgeschaltet. Nur wenn von vornherein ein reicher Bestand an gut wirksamen Milchsäurebakterien und außerdem ein genügend hoher Vorrat an Zucker oder an Stärke zugegen ist, kann gutes Sauerfutter entstehen. Daß Klee, Wicken und ähnliche, eiweißreiche aber zuckerarme Futtermittel in reinem Zustande eingesäuert, oft verderben, hat seine Ursache vornehmlich in dem zuletzt genannten Umstande. Mischungen mit zuckerreichen Gräsern (Grünhafer, Grünmais usw.) sind hier vor allem empfehlenswert.

Eine Impfung mit kräftigen Milchsäure-Bakterien ist für die Diffusions-Rückstände von größter Bedeutung, doch auch in anderen Fällen sicher recht nützlich. Derartige Kulturen sind zuerst in Frankreich (von der Firma MAURUS DEUTSCH in Paris) unter der Bezeichnung „Lakto-Pülpe“ in den Handel gebracht worden. Seit einigen Jahren wird auch eine sog. „Vindobona-Pülpe“, d. i. eine flüssige Kultur von Milchsäure-Bakterien von dem Laboratorium MOSER in Wien (XIX/5, Goltzgasse 3) in den Handel gebracht (Abb. 33). Die Kosten der Impfung sind verhältnismäßig sehr gering. Sie stellen sich auf etwa



Abb. 33. Sauerfutter-Impfkultur ($\frac{3}{5}$ nat. Gr.).

1 Pfennig pro 100 kg. Es ist wichtig, daß die schädlichen Organismen nicht erst überhand nehmen. Verschiedene Zuckerfabriken impfen deshalb die frischen Rückstände vor dem Verlassen der Fabrik. Dieses Verfahren verdient allgemein befolgt zu werden.

Milchsäure-Maische aus der Brennerei kann ebenfalls als Impfstoff Verwendung finden. Dagegen sind saure Milch, Molken usw. wenig geeignet. Die hier vorhandenen Rassen von Milchsäure-Bakterien greifen, wie ich früher (S. 178) hervorhob, meist nur Milchzucker, nicht aber Rohrzucker an, um den es sich im Futter in erster Linie handelt. Recht empfehlenswert scheint auch (besonders für eiweißreiches, zuckerarmes Futter) ein Zusatz von Gerstenschrot zu sein, das man even-

tuell vorher, nach hinreichendem Anfeuchten 1—2 Tage der Selbstsäuerung überläßt. Es werden damit gleichzeitig große Mengen kräftiger Milchsäure-Bakterien sowie genügend Material zu ausgiebiger Säurebildung zugeführt.

Wie gesagt, haben die amerikanischen Versuchsstationen zu einem rationellen Ausbau des Verfahrens viel beigetragen. Immerhin bleibt speziell in bakteriologischer Hinsicht noch manches zu tun übrig. Auch neben der Trocknung kann die Sauerfutter-Bereitung sehr wohl ihren Platz behalten. In der einfachsten und besten Weise können auf diesem Wege in jeder Wirtschaft sehr wertvolle Futter-Vorräte angesammelt werden, die auch in futterarmen Zeiten eine reichliche und vor allem billige Ernährung der Tiere sicherstellen. Ebenso wie in der menschlichen Ernährung Sauerkraut, saure Gurken usw. ihren bestimmten Platz haben, so sollte auch das ordnungsgemäß, unter Beachtung der maßgebenden Gesichtspunkte bereitete Sauerfutter allgemein die ihm gebührende Beachtung finden. In Amerika sagt man: „The silo is the poor man's necessity and the rich man's luxury, for by it both gain a better and more independent living“. Nach etwa vier Wochen sind die Umsetzungen in den Sauergruben zu Ende. Unter der Einwirkung der Säure sterben die Mikroben ab und es gehen weiterhin, sofern die Luft dauernd ferngehalten wird, nur so geringe Umsetzungen in der Masse vor sich, daß solches Sauerfutter ohne Schaden jahrelang in Vorrat gehalten werden kann. Bei Luftzutritt setzt dagegen Schimmelpilz-Wachstum ein, infolgedessen sinkt der Säuregehalt und allerhand Fäulnis-Erscheinungen machen sich geltend.

Das Verderben von Futtermitteln. Über die Bedingungen, unter denen ein Verderben von Sauerfutter, Silage, Dürr- und Braunheu zu stande kommen kann, sind wir orientiert. Ebenso habe ich schon früher dargelegt, wie dem Verderben von Kraftfuttermitteln sowie der Schleimbildung in Zuckersäften und in Brot vorgebeugt werden kann (S. 63 und 180). Es bleibt mir somit nur noch übrig, über die Fäulnis der Kartoffeln und der Rüben, sowie über die sogen. Ranzidität der Kraftfuttermittel einige Worte beizufügen.

Besonders dann neigen bekanntlich die in Kellern oder Mieten aufbewahrten Hackfrüchte zur Fäulnis, wenn sie bereits auf dem Felde durch pathogene Pilze oder Bakterien angegriffen worden waren. Nur durch Trocknung oder durch Einsäuerung können sie vor dem Verderben bewahrt werden. Für durch Frost geschädigtes Material gilt das gleiche. Leider sind aber auch völlig gesund eingebrachte Kartoffeln und Rüben den Angriffen der Bakterien nicht völlig entrückt. Nicht selten kommt es auch in solchen Fällen noch zu recht erheblichen Verlusten. Der Verlauf ist hier in allen Fällen der, daß zunächst die bis

dahin noch lebenden Pflanzenzellen durch ein Übermaß von Kohlensäure oder von Feuchtigkeit — wie es speziell in vorzeitig geschlossenen Mieten anzutreffen ist — erstickten. Schneidet man eine in diesem Stadium befindliche Kartoffel durch, so bräunen sich die abgestorbenen Zell-Partien an der Luft, es liegt „Braun-Fleckigkeit“ vor (Abb. 34, oberste Reihe). An der Luft aufbewahrt, gehen derartige Knollen in den Zustand der „Trockenfäule“ über, d. h. die Gewebe schrumpfen



Abb. 34. Durchschnittene Kartoffeln in verschiedenen Stadien der Zersetzung ($\frac{1}{4}$ nat. Gr.).

Oberste Reihe: Beginnende Braunfleckigkeit. Zweite Reihe: Übergang zur Trockenfäule.
Dritte Reihe: Übergang zur Naßfäule. Unterste Reihe: Reine Naßfäule.

(ohne Mitwirkung von Bakterien) zu einer mißfarbigen, bröcklichen Masse ein (Abb. 34, zweite Reihe. Fehlt es dagegen (wie in den zu früh mit Erde gedeckten Mieten) an Luft, so greifen Bakterien die abgestorbenen Teile an, die sie nun „naßfaul“ machen (Abb. 34, dritte Reihe). Waren aber infolge von dauerndem und vollständigem Luftabschluß nicht nur die Zellen, sondern auch die darin vorhandenem, das Braunfleckig-Werden veranlassenden oxydierenden Enzyme abgetötet, so tritt ohne Verfärbung der Kartoffel eine reine Naßfäule ein, die vor-

nehmlich in einer Zersetzung der Zellulose und der Pektinsubstanzen besteht. Die ganze Knolle verwandelt sich in eine breiige, bis dünnflüssige weißgelbliche, sehr übel riechende Masse (Abb. 34, unterste Reihe). Die Stärke wird hierbei fast gar nicht angegriffen. Deshalb können naßfaule Kartoffeln sowohl in Brennereien wie auch zum Zwecke der Stärke-Gewinnung Verwendung finden. Ein heute allerdings nur noch wenig in Gebrauch befindliches Verfahren der Stärke-Gewinnung beruht geradezu darauf, daß man die Kartoffeln in Gruben unter Wasser naßfaul werden läßt und dann durch Auswaschen die Stärke gewinnt.

Bei den Rüben können sich diese Erscheinungen in ganz ähnlicher Weise einstellen, doch unterliegt natürlich der Zucker relativ rasch der Umwandlung in Säuren und in gummiaartige Stoffe.

Die wichtigste vorbeugende Maßnahme besteht darin, daß man es vermeidet, die Mieten zu früh zu schließen. Eine Kontrolle der Innentemperatur ist sehr am Platze. Neuerdings wird angegeben, daß sich das Aufstreuen von Schwefelblüte beim Einernen der Kartoffeln sehr bewährt habe. Wertvolle Saat- oder Speise-Kartoffeln können auch mit Torfmull durchschichtet werden, der später im Stalle nochmalige Verwendung finden kann.

Eine Zeitlang hat man geglaubt, die Frische resp. die Verderbtheit von Kraftfuttermitteln nach deren sogen. Ranziditäts-Grade beurteilen zu können. In Wirklichkeit bestimmte man indessen mit Hilfe der angewandten Titrations-Methode gar nicht die Ranzigkeit, sondern nur den Säuregehalt, die „Azidität“ der Futtermittel. Diese Zahlen sind jedoch zur Beurteilung unbrauchbar, wie speziell die nachstehenden Befunde dartun. Der Gehalt an freien Säuren betrug (als Ölsäure berechnet) in Prozenten:

Rapskuchen	4,8—27,9	Reismehl	57,2—120,0
Baumwollsaa-Kuchen .	5,8—33,1	Biertreber	11,9—190,0

Die Minimalzahl für Reismehl lag also ungefähr doppelt so hoch als die Maximalzahl für Rapskuchen. Der Maximalwert für das sehr oft ranzige Reismehl wurde dagegen von der für Biertreber ermittelten Höchstzahl bedeutend übertroffen.

Eingehendere Untersuchungen wären auch hier sehr am Platze. In kausaler Hinsicht sei noch bemerkt, daß die Zersetzungerscheinungen gleichfalls z. T. dem Wirken pflanzlicher Enzyme, speziell der fettspaltenden Tätigkeit der in den ölfreichen Samen enthaltenen Lipasen zugeschrieben werden müssen.

Die Beteiligung von Bakterien am Verdauungsprozeß. Mit dem Futter gelangen immer von neuem große Mengen der verschiedenartigsten

Mikroben in den Tierkörper. Über die wechselvollen Schicksale, die sie hier erleben und erleiden, sind wir bereits unterrichtet, und wir wissen auch schon, daß ganz enorme Bakterienmassen mit den festen Exkrementen wieder ausgeschieden werden (s. S. 86—87).

Wir wollen jetzt noch zwei Fragen kurz erörtern. Erstens: Sind die Magen- und Darmbakterien notwendig für den Wirtsorganismus oder nicht? Zweitens: Welcher Art sind hauptsächlich die zur Ausscheidung gelangenden Mikroben? Sowohl die Mikrobenflora der Milch wie natürlich ganz besonders die Mikroflora des tierischen Düngers richtet sich sehr wesentlich nach dem Mikroben-Bestand in den festen Exkrementen.

Zur Beantwortung der ersten Frage sind eine Anzahl sehr schwieriger Experimente durchgeführt worden, bei denen man die betreffenden Tiere dauernd von allen niederen Keimen freizuhalten suchte. Sofern dies gelang, ergab sich meist, daß die sterilen Tiere weniger gut gediehen als die nicht sterilen. Indessen blieb es immer noch fraglich, wie weit hierbei die unentbehrlichen, höchst komplizierten Maßnahmen beim Versuche selbst das Befinden der Tiere beeinträchtigten. Neuerdings ist es aber einem französischen Forscher, namens COHENDY, gelungen, Hühner vollkommen steril und auch vollkommen normal zu erziehen¹⁾. Unbedingt notwendig sind also die Darmbakterien nicht.

Bedenkt man, über wie mannigfache Einrichtungen, speziell in bezug auf die Verdauungsenzyme, der tierische Organismus verfügt, und behält man andererseits im Gedächtnis, daß gerade die wichtigsten Abschnitte des Verdauungstraktus, der (Lab-)Magen und der Dünndarm deutlich bakterienfeindliche Tendenzen erkennen lassen, so wird man jenes Ergebnis nicht überraschend finden. Aber wenn auch die Darmbakterien sicher nicht unbedingt notwendig sind, so folgt daraus noch keineswegs, daß sie sich nicht in dieser oder jener Richtung höchst nützlich erweisen können. Das ist nun aber in der Tat so.

In vier Richtungen sind die Darmbakterien dem Tiere von Nutzen.

Erstens unterstützen sie die tierischen Verdauungs-Enzyme bei der Aufschließung des aufgenommenen Futters. Vor allen sind hier die Zellulose-lösenden Bakterien von größter Bedeutung. Trotz eifriger Suchens hat man ein Zellulose-lösendes Enzym als Sekret des tierischen Körpers bisher nicht nachweisen können. Es scheint so, als ob gerade in dieser Richtung die Bakterien alles zu leisten haben. Bedenkt man aber, welche großen Mengen an Rohfaser reichen Futters besonders die Wiederkäuer unter unseren Haustieren verzehren und wie

¹⁾ Annales de l'Institut Pasteur, T. 26, 1912, p. 106.

wichtig sie gerade wegen der Verwertung dieser voluminösen Futterstoffe für den Landwirtschafts-Betrieb sind, so tritt der sehr hohe Nutzen der schon im Pansen lebhaft tätigen Zellulose-Zersetzer klar zutage. Demgegenüber treten die anderen teils vorteilhaften, teils nachteiligen Einzel-Leistungen, die z. B. amid- und ammonassimilierende, eiweißlösende Bakterien usw. bewirken können, weit in den Hintergrund.

Zweitens wirken die von den Bakterien gebildeten Zersetzungprodukte teils günstig, teils allerdings auch schädlich auf die Darmtätigkeit ein. Besonders Säure-produzierende Bakterien können, indem sie die Fäulnisprozesse im Dickdarm unterdrücken, entschieden von Nutzen sein.

Drittens gelingt es den (sich wenigstens stellenweise so ungemein stark vermehrenden) Darmbewohnern glücklicherweise recht oft, die vereinzelt, aber doch nicht allzu selten mit der Nahrung in den Körper gelangenden pathogenen Keime zu überwuchern und zum Absterben zu bringen.

Viertens können sie schließlich den Organismus in gewissem Grade gegen Bakterien- und Giftwirkung immunisieren. In der 14. Vorlesung deutete ich dies bereits an. Bei den erwähnten Versuchen COHENDYS machte sich gerade auch dieser Punkt unverkennbar geltend.

Was nun die Arten der Bakterien anlangt, die in den festen Exkrementen den Tierkörper verlassen, so brauche ich mit Rücksicht auf das früher (in der 6. Vorlesung) Gesagte kaum besonders hervorzuheben, daß ein direkter Einfluß des Futters auf die Mikroflora des Kotes nicht besteht. Gewiß passieren allerhand Keime den Tierkörper zusammen mit dem Futter. Sie stellen die sogen. „fakultative Darmflora“ dar. Weit wichtiger ist aber zweifellos die „obligate Darmflora“. Diese setzt sich aus gewissen Arten zusammen, die in bestimmten Darmabschnitten regelmäßig vorgefunden werden und deren Angehörige in größter Zahl in den festen Exkrementen zur Ausscheidung gelangen.

Vor allem gehören hierzu die schon mehrfach genannten, meist stark gasbildenden Darm-Milchsäurebakterien aus der Coli-Aërogenes-Gruppe, ferner Buttersäure-Bazillen und andere anaerobe sowie aërobie Sporenbildner. Desgleichen sind Streptokokken und Mikrokokken nicht selten. Fluoreszenten und Proteus-Formen gesellen sich hinzu. Bei reichlicher Milchkost treten die sonst nicht gerade häufigen Laktobazillen in den Vordergrund, die z. B. im Säuglings- und im Kälber-Darm dominieren.

Nicht der Keimgehalt des Futters ist also von Wichtigkeit, sondern der spezifische Einfluß der Ernährung auf die bereits im Magen

und im Darm vorhandene Mikroflora. Dabei braucht es sich keineswegs immer um solche tiefgreifende Änderungen im Artbestande selbst zu handeln, wie bei der auffälligen Begünstigung des Laktobazillen-Wachstums durch Zufuhr von Milch. Sehr oft werden nur die Eigenschaften der normalen Darmbewohner in der einen oder in der anderen Richtung beeinflußt. Daß solche Variationen mitunter — besonders in milchwirtschaftlicher Hinsicht — recht bedeutungsvoll werden können, läßt sich leicht denken. In den nächsten Vorlesungen werden wir noch auf die eine oder andere, hiermit im Zusammenhange stehende Tatsache zu sprechen kommen.

16. Vorlesung.

Milch-Bakteriologie: Infektion der Milch bei der Gewinnung. Änderungen des Keimgehalts während der Aufbewahrung. Keimgehalt der verschiedenen Milchsorten. Biologische Milchprüfung.

Infektion der Milch bei der Gewinnung. Milch und Molkereiprodukte stellen sowohl vom Standpunkte des Einzelnen wie von dem der Allgemeinheit aus betrachtet, außerordentlich wertvolle Nahrungsmittel dar. Leider gilt das aber nicht nur in bezug auf die menschliche Ernährung. Auch viele Mikroorganismen bevorzugen die Milch sehr. Infolge der ungemein zahlreichen Infektions-Möglichkeiten haben wir es in der Milch meist mit einem recht keimreichen und deshalb besonders leicht verderbenden Produkt zu tun.

Einige vorläufige Angaben in dieser Richtung machte ich schon in der 6. Vorlesung (S. 88). Ebenso wies ich bereits in der 1. Vorlesung darauf hin, daß wir erfreulicherweise gerade in der Bakteriologie der Milch und der Molkerei-Produkte schon recht festen Grund unter den Füßen haben. Leider steht indessen die Kenntnis der Praktiker in Land- und Milchwirtschaft in bakteriologischer Hinsicht oft noch nicht auf der Stufe, auf der sie wohl stehen könnte und sollte. In bezug auf die Beachtung und Anwendung der bakteriologischen Grundsätze im praktischen Betriebe bleibt noch recht viel zu wünschen übrig. Zweifellos hat diese bedauerliche Erscheinung ihren Hauptgrund darin, daß fast immer nur darauf gedrungen wird, Milch und Molkerei-Produkte dem Konsumenten möglichst billig zur Verfügung zu stellen. Solange von dieser Seite ohne alle Überlegung stets nur nach der billigsten Milch gefragt wird und kein Verständnis dafür zu finden ist, daß eine sehr saubere, keimarme, lange haltbare Milch, wenn sie auch vielleicht das Doppelte kostet, doch wahrscheinlich vier- oder sechsmal so gut ist, als jene andere Milch, solange sind auch wesentliche Fortschritte und durchgreifende Besserungen nicht zu erwarten. Allerdings nehmen sich ja neuerdings die städtischen Behörden sehr ernstlich gewisser milchbakteriologischer Fragen an. Es werden mitunter sehr weitgehende Forderungen aufgestellt, die dem

Milchproduzenten große Schwierigkeiten und Kosten bereiten können. Und trotz aller Sorgfalt sind ab und zu Bestrafungen zu gewärtigen.

Es ist also jedenfalls sehr an der Zeit, daß sich der Praktiker das von der Wissenschaft dargebotene Rüstzeug zu nutze macht. Bei der Bekämpfung der schädlichen Bakterien, bei der notwendigen Aufklärung der Konsumenten-Kreise, wie auch bei einer etwa notwendig werdenden Zurückweisung behördlicher Übergriffe sind gründliche bakteriologische Kenntnisse unentbehrlich. In den Gärungsgewerben (Brennerei und Brauerei) hat man die Verwendung entsprechend geschulter Hilfskräfte längst als notwendig erkannt. Das Molkereigewerbe setzt aber, wenn es wahrhaft rationell betrieben werden soll, durchaus nicht weniger, wohl eher mehr Kenntnisse auf mikrobiologischem Gebiete voraus, als in jenen Fällen nötig sind. Und wieviel höher ist zudem die volkswirtschaftliche Bedeutung der milchwirtschaftlichen Erzeugnisse im Vergleich mit denen der Gärungsgewerbe! —

Vom Euter der Kuh bis in den Milchtopf der Hausfrau ist immer von neuem Gelegenheit zu Infektionen der Milch gegeben. Verfolgen wir diese zunächst vom Beginn des Melkens an bis zum Einfüllen der Milch in die Transportgefäß. Wir haben hier nacheinander unser Augenmerk zu richten:

1. auf den Keimgehalt des Euters selbst,
2. auf den Einfluß der Körperpflege der Tiere und der Art des Melkens,
3. auf die in den Geräten und Gefäßen stattfindenden sogen. Kontakt-Infektionen,
4. auf den Einfluß der Luft und
5. auf den Einfluß von Futter und Tränkwasser.

Die Milch im Euter ist, wie uns bereits bekannt ist, im Augenblicke des Entstehens (in der Drüsenzelle) meist keimfrei. Wahrscheinlich gelangen nur pathogene Keime, speziell Tuberkelbazillen, eventuell schon zu diesem Zeitpunkte aus dem Blut in die Milch. Dagegen sind die Milch-Zysterne sowie die Zitzenkanäle gewöhnlich reich an von außen (durch die Zitzenöffnung) eingewanderten Bakterien. Werden die Kühe dauernd wenig reinlich gehalten, so ist die das Euter verlassende Milch äußerst keimreich; im entgegengesetzten Falle sinkt dagegen die Keimzahl sehr bedeutend. Dafür drei Beispiele¹⁾:

Je 1 ccm Milch enthielt:	Anfang	Mitte	Ende des Gemelkes
bei unsauberer Gewinnung . . .	6 $\frac{1}{2}$ —86 Millionen	.	12 000—43 000
„ ziemlich sauberer Gewinnung	55 000—97 000	2 000—10 000	0—500
„ äußerst „ „	600	40	10

¹⁾ Weitere Einzelheiten finden sich im Abschnitt III, 1 meines Handbuches der landwirtschaftlichen Bakteriologie.

Mitunter ist es möglich, von dauernd peinlich sauber gehaltenen Tieren (mittels sterilisierter Katheter) kleine Milchmengen zu gewinnen, die vollkommen keimfrei sind. Aber das sind seltene Ausnahmefälle. Oft versagen selbst die weitestgehenden Vorsichtsmaßregeln. Und bei der gewöhnlichen Art der Milchgewinnung ist es auch bei aller erdenklichen Sorgfalt nur möglich, eine keimarme, nie aber eine keimfreie Milch zu erhalten. Fehlt es an Sauberkeit, so können sich wahre Schmutz- und Bakterienpfropfen an der Zitzenöffnung vorfinden. Es gehört deshalb durchaus nicht zu den Seltenheiten, daß bei einer primitiven, nur dem Gesichtspunkt möglichster Billigkeit Rechnung tragenden Art der Milchgewinnung, jedes Kubikzentimeter Milch, das dem Euter entströmt, durchschnittlich ein bis einige Hunderttausend Bakterien enthält. Unter günstigeren Bedingungen sinken diese Zahlen auf ein bis einige Tausend und im günstigsten Falle auf ein bis einige Hundert.

Da aus der beschmutzten Streu naturgemäß sehr verschiedenartige Mikroben in das Euter eindringen, so könnte man erwarten, daß auch die Mikroflora des Euters eine recht bunte und wechselnde Zusammensetzung zeigt. Das ist jedoch nicht der Fall. Die meisten der Eindringlinge gehen — wenn man von der eventuell vorhandenen Anhäufung an der Zitzenmündung absieht — im Euter ziemlich rasch zugrunde. Die (in der 14. Vorlesung erörterte) bakterizide Wirkung der Gewebe des tierischen Körpers macht sich auch hier geltend. Es sind nur gewisse Arten, die sich dauernd einnisten, und zwar handelt es sich — was sehr beachtenswert ist — größtenteils um avirulente oder wenig virulente Parallelformen pathogener Bakterien-Arten. Speziell sind es weiße und gelbe Mikrokokken, die man wegen ihres regelmäßigen Vorkommens oft auch geradezu Euter-Kokken nennt. Alles deutet darauf hin, daß man sie als nicht krankheitserregende Varietäten des *Micrococcus pyogenes* auffassen muß, der im virulenten Zustande Euterentzündung, die sogen. Staphylokokken-Mastitis hervorrufen kann. Schon der Umstand, daß sie den Abwehrkräften des Organismus, die eine rasche Beseitigung fast aller anderen Arten durchsetzen, so erfolgreich dauernd Widerstand zu leisten vermögen, weist deutlich in diese Richtung. Dazu kommt, daß zuweilen, wenn durch Erkältung, speziell durch das Liegen auf naßkaltem Boden oder infolge anderer Umstände, die Resistenz des Eutergewebes herabgesetzt ist, plötzlich Staphylokokken-Mastitiden auftreten, die man kaum auf eine andere Ursache zurückführen kann, als auf ein Pathogen-Werden dieser Euter-Kokken. Analoge Erscheinungen sind bei anderen Arten gleichfalls beobachtet worden. Euterentzündungen (Mastitis) werden außer durch Mikrokokken (Staphylokokken) auch — und zwar häufiger —

durch Streptokokken (*Streptococcus pyogenes*) sowie (seltener) durch *Bact. coli* oder durch *Bact. pyocyanum* hervorgerufen. Schleichende Streptokokken-Mastitiden sind weit häufiger, als gemeinhin angenommen wird. Ich komme noch näher hierauf zu sprechen. Einstweilen sei nur darauf hingewiesen, daß Milch aus derart erkrankten Eutern überaus große Bakterienmassen enthalten kann. Aber auch in vollkommen gesund erscheinenden Eutern findet man ab und zu entweder Streptokokken oder Coli-Bakterien oder das *Bact. fluorescens*, d. i. die nicht pathogene Parallelform des *Bact. pyocyanum*. Diese nicht pathogenen Streptokokken stehen den gewöhnlichen Milchsäure-Streptokokken entweder sehr nahe oder sind mit ihnen identisch. Solche Milch wird oft abnorm schnell sauer. Die Euterkokken machen sich in bezug auf die Qualität der Milch meist wenig bemerklich. Aseptisch gewonnene Milch hält sich deshalb in der Regel wochenlang fast oder ganz unverändert. Manchmal bringen jedoch auch diese Mikrokokken die Milch zur Gerinnung, teils infolge der Produktion von Lab, teils durch Bildung von Säure. Manche von ihnen wirken zugleich in beiden Richtungen. Es sind das die sogen. „Säure-Lab-Kokken“. Sind Coli-Bakterien zugegen, so neigt die Milch zu Gasbildung und unreiner Säuerung. Fluoreszenten bewirken käsige Gerinnung und (als kräftige Fettzersetzer) das Auftreten eines ranzigen Geruches und Geschmackes der Milch.

Gelegentlich siedeln sich auch andere Bakterien im Euter an, die zum Auftreten des soeben genannten Milchfehlers oder zu anderen abnormen Änderungen der Milch Veranlassung geben. Speziell gilt das noch in bezug auf die blaue, die rote, die bittere und die schleimige Milch. Wesen und Ursachen dieser und anderer Milchfehler werde ich in der nächsten Vorlesung erörtern. Hier sei einstweilen nur daran erinnert, daß man durch eine sorgfältige Innen-Desinfektion des Euters dieser Schädlinge Herr werden kann (s. S. 123). —

Als weitere, den Keimgehalt der Milch beeinflussende Momente kommen in Betracht: die Art der Körperpflege und die Art des Melkens.

Von schmutzigen Tieren kann man selbstverständlich keine reine, keimarme Milch gewinnen. In 1 g Putzstaub wurden von amerikanischen Bakteriologen ca. 200 Millionen Keime gezählt. Wie wir wissen, sind die Exkremeante, die ja leider noch recht oft gerade die dem Euter benachbarten Partien des Kuh-Körpers wie eine Art Panzer bedecken, aber noch viel keimreicher. $\frac{1}{1000}$ g solchen Schmutzes bringt mehrere bis viele Millionen Bakterien in die Milch. Besondere Beachtung verdient der Umstand, daß es meist nicht gelingt, den Keimgehalt in der Milch eines bis dahin unsauber gehaltenen Tieres

durch eine ein- oder zweimalige Reinigung rasch auf ein geringes Maß herabzudrücken. Es bedarf fast immer einer länger dauernden „Sanierung“, bis man ans Ziel gelangt. Milch, die bis dahin beim Verlassen des Euters pro ccm einige Hunderttausend Keime enthielt, läßt sich wohl bald in eine solche mit einigen Tausend, aber nur allmählich in eine mit wenigen Hundert Keimen verwandeln.

Von besonderer Wichtigkeit ist natürlich die Reinigung des Euters und der angrenzenden Körperteile. Welche Differenzen sich hier ergeben können, lehren z. B. ein paar Befunde BOLLEYS recht deutlich. Während des Melkens wurden einige PETRI-Schalen mit Gelatine unter das Euter einer an sich zwar sauberen, aber nicht besonders gereinigten Kuh sowie unter eine zweite Kuh gehalten, deren Euter und Flanken besonders gründlich gereinigt worden waren. Während einer halben Minute gelangten im ersten Falle 70, im zweiten aber nur 3 Keime in die betreffende Schale. — Daß ein die Flanken rechts und links abklopfender schmutziger Kuhschwanz einem bakteriologisch geschulten Auge als besonders unerfreuliche Zugabe erscheinen muß, brauche ich nicht näher auseinanderzusetzen.

Über die beste Art der Euter-Reinigung ist schon ziemlich viel gearbeitet worden¹⁾. Man hat sogar besondere Vorrichtungen (Nutricia-Euterbeutel u. a.) erdacht, die eine längere Behandlung des Euters mit desinfizierenden Flüssigkeiten gestatten sollen. Derartige Umständlichkeiten sind sämtlich entbehrlich. Ist das Euter sehr schmutzig, so muß es (mit lauwarmem Seifenwasser) gründlich gewaschen werden. Nachher ist es abzuspülen, sorgfältig abzutrocknen und leicht einzufetten. Ist das Euter in der Hauptsache rein, so genügt trockenes Abreiben mit einem weichen Tuche und nachfolgendes Einfetten.

Geschieht das Melken mit der Hand, so ist 1. deren Sauberkeit, 2. die Art des Melkens und 3. die Geschicklichkeit des Melkers in Betracht zu ziehen.

An unsauberer Händen des Stallpersonals hat man 45 Millionen Keime gezählt. Das dürfte aber kaum die „erreichbare“ Maximalzahl sein. Leider gibt es ja unter den Melkern — auch in unserem höchst hygienischen Zeitalter — noch genug Leute, die eine Ermunterung zu ausgiebigerem Gebrauche von Seife und Wasser einer persönlichen Beleidigung ungefähr gleich achten, und lieber ihre Stelle verlassen, als sich derartigen Zumutungen zu fügen. Gründlichste Säuberung der Hände vor dem Melken jeder einzelnen Kuh ist entschieden angezeigt.

¹⁾ Vgl. speziell die Berner Dissertation von K. VOLMER, Über die beste Keimfreimachung des Euters usw., 1909, ref. Milchw. Zentralblatt, Bd. 7, S. 175.

Einer etwaigen Übertragung von Mastitis-Streptokokken von einzelnen, leicht infizierten Tieren, die fast in jedem Stalle anzutreffen sind, auf den übrigen Bestand wird so nach Möglichkeit entgegen gearbeitet.

Trocken-Melken ist dem Naß-Melken entschieden vorzuziehen. Ganz verwerlich ist das Anfeuchten der Hände mit Speichel oder mit der dem Euter zuerst entströmenden Milch. Am ungünstigsten wirkt das Naßmelken natürlich dann, wenn das Euter unsauber ist. Dann laufen außen an den Strichen schmutzige Bächlein hernieder, die sich mit dem ausgepreßten Milchstrahl vereinigen und sofort zu einer erheblichen Verschlechterung der hygienischen Beschaffenheit der Milch Veranlassung geben. Das soeben empfohlene Einfetten des Euters nach erfolgter Reinigung macht es auch den Leuten, die glauben, nur naß melken zu können, nicht schwer, ohne Anfeuchten der Hände auszukommen. Außerdem verhindert diese Maßnahme auch das (beim Trocken-Melken leicht stattfindende) Abfallen von Hautschuppen und Haaren. Selbstverständlich ist ein Zuviel an Fett streng zu vermeiden. Die Haut des Euters soll eben nur geschmeidig gemacht werden.

Die ersten Milchstrahlen sind, wie wir wissen, besonders keimreich und auch immer sehr fettarm (sie enthalten meist nur etwa 1% Fett). Sie sind deshalb stets getrennt aufzufangen in einem kleinen, eventuell dem Melkeimer seitlich angehängten Gefäß und nachher zu beseitigen. Viele Polizei-Verordnungen schreiben vor, die ersten Strahlen auf den Boden oder in die Streu zu melken¹⁾. Ich muß dringend raten, unter allen Umständen dieser Vorschrift zuwider zu handeln, auch auf die — allerdings nicht sehr wahrscheinliche — Gefahr hin, deshalb mit der Behörde in Konflikt zu geraten. Milkt man in die Streu, so ist die allergünstigste Voraussetzung für eine allgemeine Verbreitung der Mastitis-Streptokokken im ganzen Stalle, bezw. für eine Infektion des gesamten Bestandes gegeben. Wie gesagt, ist im großen Durchschnitt ein sehr erheblicher Teil aller Kühe (vielleicht 20 oder 30%) mit der sogen. schleichen Form der Streptokokken-Mastitis behaftet. Das Betasten des Euters sowie das Aussehen der Milch gibt in solchen Fällen oft noch keinen Anlaß, Verdacht zu schöpfen. Trotzdem ist aber auf bakteriologischem Wege bereits das für eine Streptokokken-Mastitis charakteristische Bild — das ich bald näher beschreiben werde — deutlich erkennbar. Nun können aber — wenigstens unter den heute gegebenen Verhältnissen — in einem großen Betriebe gar nicht alle Tiere dauernd bakteriologisch kontrolliert werden. Die Folge ist, daß man stets mit

¹⁾ Sogar die am 26. Juli 1912 von den preußischen Ministerien des Innern, für Landwirtschaft und für Handel gemeinsam erlassenen „Grundsätze für die Regelung des Verkehrs mit Milch“ enthalten (unter A, V, 3) diese Bestimmung.

dem Vorhandensein solcher gesund, erscheinender Streptokokken-Träger rechnen muß, die dann entweder infolge irgend eines Anlasses (Erkältung, Stoß usw.) selbst akut erkranken, oder die doch stets eine latente Gefahr für die ihnen zunächst stehenden Kühe bedeuten. Das Fortmelken der ersten Milchstrahlen in die Streu ist, von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet, absolut verwerflich. —

Daß die größere oder geringere Geschicklichkeit des Melkers den Keimgehalt der Milch vermindern bzw. erhöhen kann, zeigen einige von BACKHAUS und CRONHEIM registrierte Beobachtungen sehr deutlich. Die Milch einer Kuh, die sonst ca. 10 000 Keime aufwies, enthielt deren mehr als 100 000, als infolge Erkrankung des ständigen Wärters das Melken von ungeübter Hand besorgt werden mußte. Am besten wird aus sogleich anzugebendem Grunde in solche Eimer gemolken, deren Öffnung größtenteils von einem übergreifenden Deckel geschützt ist. Der Eimer wird am besten nicht direkt unter das Euter gebracht sondern ein wenig abseits vom Tier gehalten. So ist das Hereinfallen von Haaren, Hautschuppen usw. fast ganz ausgeschlossen. Es bedarf nur geringer Übung, um durch entsprechende Haltung der Striche die Melkstrahlen auch unter dieser Bedingung richtig in die kleine Eimeröffnung zu leiten.

Daß die das Melkgeschäft besorgenden Personen nicht mit ansteckenden Krankheiten, insbesondere nicht mit solchen der Haut behaftet sein dürfen, ist natürlich ebenfalls ein recht wichtiger Punkt.

Das Maschinen-Melken kann dem Handmelken in bakteriologischer Hinsicht sowohl über- wie unterlegen sein. Ist die Maschine zweckmäßig konstruiert und wird dauernd darauf geachtet, daß sie in allen Teilen vollkommen sauber — und zwar im bakteriologischen Sinne sauber — ist, so ist es sehr wohl möglich, auch mit der Maschine eine keimarme Milch zu gewinnen. Welche Unterschiede sich hierbei herausstellen können, lehren die folgenden von STOCKING und MASON ermittelten (hier abgerundeten) Zahlen:

Behandlung der Maschine	Keime pro ccm Milch
gründliche Spülung und Waschung aller Teile	48 000
nach Behandlung mit Formalin	20 000
nach Aus-Dämpfen und Formalin-Behandlung	8 000
ebenso, außerdem die eintretende Luft durch Watte filtriert	1 600
nach Behandlung mit Kalkwasser	55 000

Andere Autoren erhielten zwar bei Anwendung des Kalkwasserbades günstigere Ergebnisse. Endgültig ist aber diese Frage noch nicht gelöst. Das beste und billigste Desinfektions-Verfahren für Melkmaschinen ist noch nicht gefunden. Bei weiteren Versuchen können eventuell einige der in der 8. Vorlesung gegebenen Hinweise von Nutzen sein.

In bezug auf die in die Milch gelangenden Mikroben-Arten werden naturgemäß Kot-Teilchen den ungünstigsten Einfluß ausüben. *Coli-Aërogenes*-Formen, Fluoreszenten, *Proteus*-Varietäten, *Buttersäure*-Bazillen und andere Anaërobe kommen hier in erster Linie in Betracht. Daß sie alle recht unerwünscht sind, brauche ich nicht näher zu begründen. An den Haaren und Hautschuppen der Kühne sind gewöhnlich Milchsäure-Bakterien in großer Zahl anzutreffen. Außerdem können andere Strepto- und Mikrokokken sowie die verschiedenartigsten Stäbchen-Bakterien und Pilzsporen erwartet werden. Die in den Melkmaschinen vorhandene Mikroflora entspricht derjenigen in anderen Gefäßen, über die ich jetzt zu sprechen habe.

Wie ein Bach oder ein Fluß von allen Stellen, die er auf seinem Laufe passiert, bald mehr, bald weniger Erde, Steine, Pflanzen usw. mit fortführt, so beladet sich auch die Milch bei ihrem Hindurchpassieren durch den ganzen milchwirtschaftlichen Betrieb fortwährend von neuem mit Keimen. Beim Umgießen aus einem Gefäß in das andere hat sie ja gewöhnlich mehr die Geschwindigkeit eines Sturzbaches als die eines ruhig dahin gleitenden Stromes. Daß sie dabei von den meist glatten Gefäßwänden und Gerätschaften fast alle Keime mit fortspülen wird, ist unschwer einzusehen.

In welcher Weise die Keimzahl durch solche „Kontakt-Infektionen“ erhöht werden kann, mögen die folgenden Ermittelungen von BACKHAUS und CRONHEIM dartun:

An Bakterien wurden gezählt	pro ccm
in der Milch im Melkeimer	19 000
nach dem Umgießen in ein zweites Gefäß	28 000
„ „ Passieren des Kühlers	38 000
„ „ Auffangen in einem dritten Gefäß	78 000
„ „ Einfüllen in die Flasche	162 000

Holzgefäße sind, auch wenn sie tadellos rein gehalten werden, keimreicher als Metallgefäße. Sie bleiben länger feucht und die Keime entwickeln sich in ihnen aus früher dargelegten Gründen meist recht lebhaft. Die Form aller für milchwirtschaftliche Zwecke benutzten Gerätschaften und Gefäße muß möglichst einfach sein. Alles, was eine durchgreifende Reinigung erschwert oder unmöglich macht, ist von Übel. Will man wirklich keimarme Milch gewinnen, so ist das Sterilisieren aller Gefäße und Gerätschaften unbedingt notwendig. In der 8. Vorlesung führte ich aus, daß der Trocken-Sterilisierung — soweit sie anwendbar ist — unbedingt der Vorzug gegeben werden muß.

Unterbleibt das Sterilisieren, so finden sich in mäßig sauber gehaltenen Gefäßen meist Milchsäurebakterien vor. Erhöhte Sauberkeit verdrängt diese zuerst, statt dessen herrschen dann Fluoreszenten,

Coli- und Buttersäure-Bakterien nebst anderen Arten vor, die nachteilig auf die Milch einwirken. Es gehört deshalb keineswegs zu den Seltenheiten, daß Milch aus einem Betriebe, in dem zwar stets für größte Reinlichkeit gesorgt wird, wo aber das Sterilisieren der Gefäße unterbleibt, häufiger eine fehlerhafte Beschaffenheit zeigt, als die keimreichere Milch aus einer kleinbäuerlichen Wirtschaft. Die zahlreichen Milchsäurebakterien unterdrücken hier die schädlichen Organismen.

Übrigens ist das für Molkerei-Zwecke benutzte Gebrauchswasser auf dem Lande nicht selten von recht bedenklicher Beschaffenheit. Milchfehler sind oft auf die Verwendung derartigen Wassers zurückzuführen.

Der Einfluß des Keimgehaltes der Stall-Luft auf den Keimgehalt der Milch tritt am deutlichsten dann hervor, wenn man neben einander gewöhnliche Melkeimer mit weiter Öffnung und solche mit kleiner Öffnung und kappenartigem Schutzdeckel verwendet. Besonders in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika sind zahlreiche derartige Eimer konstruiert worden. Wie gesagt, sind einfache Bauart, möglichst kleine Öffnung und Übergreifen des Deckels die wichtigsten Punkte. Unter im übrigen gleichen Umständen ist in einem solchen Eimer der Keimgehalt um etwa 60—90% niedriger als im offenen Gefäß. Das Melken außerhalb des Stalles, im Freien oder in einem besonderen Melkraum, bietet dann keinen merklichen Vorteil dar, wenn für ruhige, reine Luft im Stall gesorgt ist und bedeckte Melkeimer benutzt werden. Daß aber die Milch sofort nach dem Melken in einen anderen Raum zu bringen ist und nicht etwa im Stall erst geseiht oder gar gekühlt werden darf, bedarf sicherlich keiner besonderen Begründung mehr. Sehr angezeigt ist es, schon etwa eine Stunde vor dem Melken für Ruhe im Stall zu sorgen. Denn das Aufschütteln der Streu, das Ausmisten, Putzen usw. führen notwendigerweise zu einer starken Erhöhung des Keimgehalts der Luft.

Daß auch in sauberen Ställen die Luft meist recht keimreich ist, kann man leicht durch Aufstellen einer mit sterilisierter Gelatine beschickten PETRI-Schale nachweisen. Bei einer Expositions-Dauer von 1 Minute fallen fast immer mehrere Hundert der verschiedenartigsten Mikroben auf die Platte nieder. Dagegen liefern andere Räume bei einem entsprechenden Vergleich in der Regel nur 1—10 Keime. Da die in der Luft schwebenden Mikroorganismen namentlich von den Kühen, aus dem Rauhfutter, aus der Streu und aus den Exkrementen stammen, so ist der große Arten-Reichtum nicht überraschend.

Äußerst schädlich wirken die in den Ställen leider oft sehr zahlreichen Fliegen. Eine einzige Fliege kann Hunderte von Millionen Bakterien in die Milch übertragen, die bekanntlich größtenteils Menschen-,

Tierkot und anderen faulenden Stoffen entstammen, also ganz besonders unwillkommen sind.

Daß die im Futter und im Tränkwasser enthaltenen Keime im allgemeinen — pathogene Keime ausgenommen — nicht vom Verdauungs- traktus durch das Blut in die Milch gelangen können, folgt aus den entsprechenden Angaben dieser und der 14. Vorlesung. Nur außen herum, d. h. entweder durch Verstäuben, Verschleudern bzw. Verspritzen von Futter- und Wasser-Teilchen oder mit dem Kot kann eine Übertragung zustande kommen. Da sowohl das Futter wie namentlich das in Selbsttränken stehende Wasser gewöhnlich sehr keimreich ist, so empfiehlt es sich auch aus diesem Grunde, nicht gleichzeitig zu füttern und zu melken. Der Keimgehalt der festen Exkreme nte wird, wie ich in der voraufgegangenen Vorlesung darlegte, durch das Futter weniger direkt als vielmehr indirekt beeinflußt. Besonders solche Futter- mittel, die zu Verdauungsstörungen Veranlassung geben, sind nach Möglichkeit zu vermeiden oder doch in geeigneter Mischung mit anderen Futterstoffen zu verabreichen.

Änderungen des Keimgehalts während der Aufbewahrung. Nur ausnahmsweise wird die Milch unmittelbar nach dem Melken verzehrt. In der Regel hat sie eine mehr oder minder lange Aufbewahrungsdauer zu überstehen. Welche Änderungen erfährt nun der Keimgehalt während dieser Zeit?

Nur bei von vornherein sehr keimreicher Milch setzt sogleich eine Vermehrung ein. Sonst bleibt merkwürdigerweise die Zahl in den ersten Stunden ungefähr konstant oder sie zeigt sogar einen mehr oder minder deutlichen Rückgang, z. B. wurden gezählt pro ccm:

frisch	nach 3 Stunden	nach 6 Stunden	nach 9 Stunden
3090	920	1090	1160

Keimarme Milch pflegt erst nach 18—24 Stunden wieder ebenso viele Keime aufzuweisen wie am Anfang. Über die Ursachen dieser Erscheinung sind die Ansichten geteilt. Sicher kommen auch verschiedene Einflüsse in Betracht.

Meist wird die Keim-Abnahme auf bakterizide Eigen- schaften der Milch zurückgeführt. Wie die sonstigen Gewebe und Säfte des tierischen Organismus soll auch die Milch bakterientötend wirken. Das ist in der Tat der Fall, aber doch nur in beschränktem Umfange. Die größte Wirkung übt in dieser Hinsicht die Kolostral- Milch aus, namentlich wenn sie bei 37° C gehalten wird. In anderer Milch ist bei dieser Temperatur (die naturgemäß die echten bakteriziden Eigenschaften am stärksten hervortreten lassen muß) die Keim-Abnahme meist nicht sehr bedeutend und in der Regel rasch vorübergehend. Zu einer wirklichen Abtötung der Bakterien kommt es also nur teilweise.

Richtiger würde man von einer Entwicklungs-Hemmung sprechen, die sich zudem nicht gegenüber allen Arten geltend macht. Die Milchsäure-Bakterien entwickeln sich z. B. gewöhnlich von vornherein ohne erkennbare Störung. Da wie Kolostral-Milch so auch andere, an Leukozyten reiche Milch im allgemeinen die stärksten Depressionen ergibt, so scheint auch hier die Phagozytose eine — allerdings nicht sehr bedeutende — Rolle zu spielen. Doch zeigt das Milchserum ähnliche Eigenschaften. Vermutlich handelt es sich in diesem Falle um Agglutinations-Phänomene¹⁾. Die Keime werden nicht abgetötet, sondern (in Form von Konglomeraten) ausgeflockt. Bei der üblichen Keimzählung (mittels Gußkultur) liefern sie demnach nur relativ wenig Kolonien und täuschen so eine Keimabnahme vor, die vielleicht in Wirklichkeit gar nicht vorhanden ist.

Wird die Milch stark abgekühlt, so sterben die wärmebedürftigen Keime entweder ab, oder sie können sich doch jedenfalls nicht vermehren. Im allgemeinen ist — abgesehen von der Kolostral-Milch — der Keim-Rückgang in tief gekühlter Milch am stärksten. Der Einfluß von Bakterizidie, Agglutination und Temperatur-Erniedrigung summieren sich in diesem Falle zu einem recht befriedigenden Gesamt-Effekt. Z. B. fand man in Milch, deren Keimgehalt im frischen Zustand auf 5000 pro ccm ermittelt worden war, nach Verlauf von 24 Stunden:

bei 5° C	10° C	18° C	35° C	Aufbewahrungs-Temperatur
2400	7000	280 000	12,5 Millionen	Keime pro ccm.

Manche Autoren glauben, die Keim-Abnahme lediglich auf Kälte-Wirkung zurückzuführen zu müssen. Das ist indessen ebensowenig richtig wie die gleichfalls gelegentlich vertretene Ansicht, derzufolge nur die Milch verschiedenen zufällig hineingelangten Arten als Nährboden nicht zusage. Das Absterben dieser Keime bedinge den Rückgang. Beide Einflüsse partizipieren unstreitig bald mehr bald weniger am Resultat. Da aber Milch, die sofort nach dem Melken einige Zeit auf 55—60° C erhitzt wurde, die sogen. „bakterizide Phase“ nicht mehr zeigt, so ist es klar, daß die anderen Ursachen die wichtigere Rolle spielen.

In warm gehaltener Milch findet eine erstaunlich rapide Vermehrung der Keime statt. Einige besonders instruktive Zahlen habe ich bei anderer Gelegenheit (S. 34) mitgeteilt. Bei sehr niedriger Temperatur bleibt die Keimzunahme jedoch ebenfalls nicht aus. Die stets vorhandenen psychrophilen Organismen, unter ihnen in erster Linie Fluoreszenten und Mikrokokken, beginnen bald sich lebhaft zu vermehren. Beispielsweise zählte RULLMANN bei Aufbewahrung der Milch im Eisschrank bei ca. 4—5° C pro ccm (s. S. 240):

¹⁾ BUB, Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 27, 1910, S. 321. Über die „Agglutination“ selbst vgl. das auf S. 210 Gesagte.

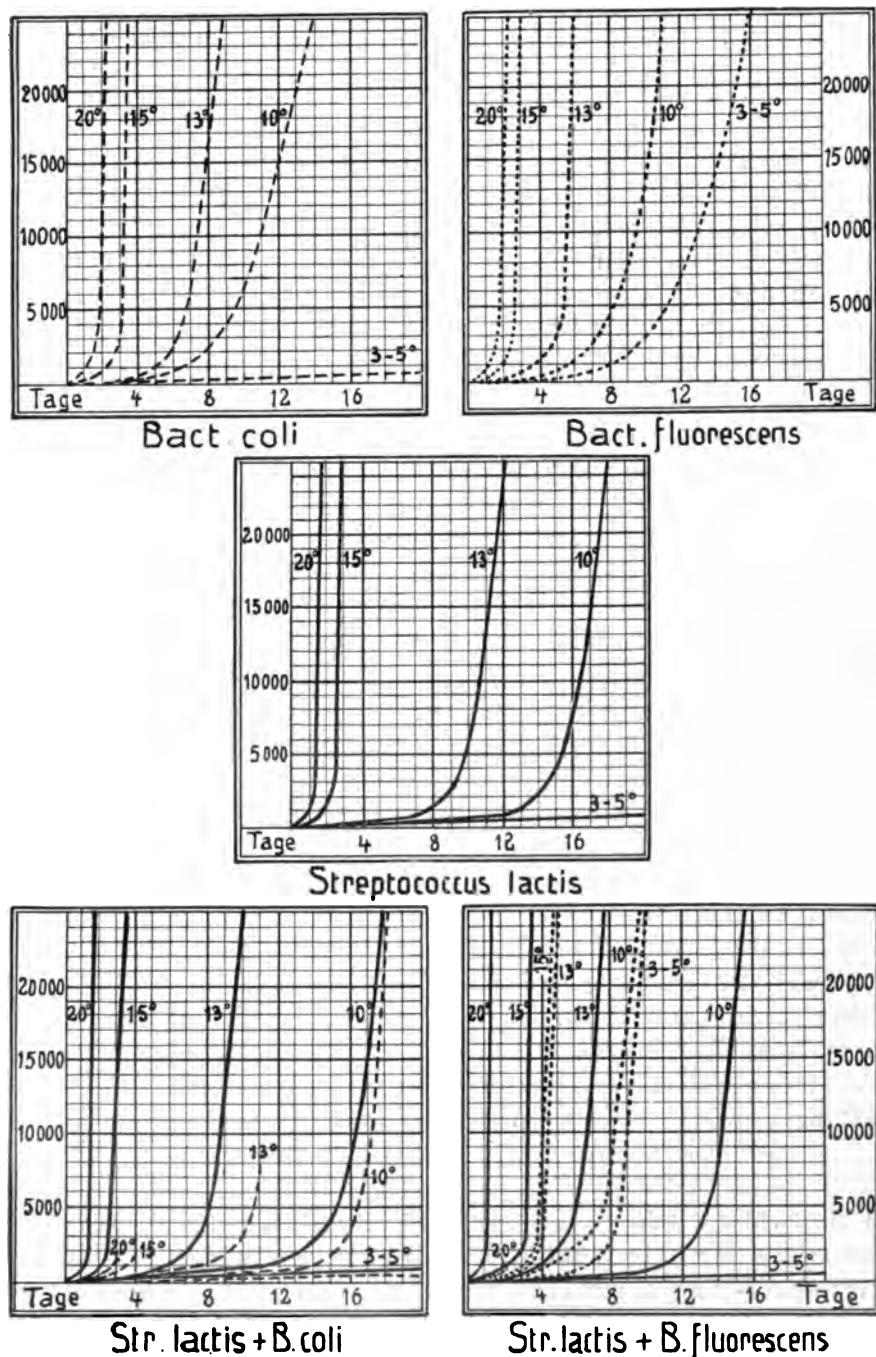


Abb. 35. Vermehrung von *Bact. coli*, *Bact. fluorescens* und *Streptococcus lactis* in Milch in Rein- und in Misch-Kultur bei 3–20° C um das 1000fache.

	am 1.	2.	3.	4.	5.	6. Tage
rohe Milch . .	21120	23680	121080	338560	unzählig	viele
pasteuris. Milch	60	40	30	360	32040	209920

Keimreiche, mehrere Wochen bei etwa 0° C aufbewahrte Milch kann einige tausend Millionen Keime enthalten (s. S. 73).

Die Kurven in Abb. 35, die ich nach einigen von W. B. LUXWOLDA ausgeführten Zählungen¹⁾ konstruiert habe, zeigen das Verhalten von drei besonders wichtigen Milchbakterien bei ca. 3, 10, 13, 15 und 20° C. Die starke Hemmung der Milchsäure-Streptokokken durch niedere Temperaturen tritt ebenso deutlich hervor, wie das psychophile Verhalten der Fluoreszenten. Zugleich sehen wir, wie die Milchsäure-Bakterien bei höherer Temperatur die beigemischten anderen Keime kräftig unterdrücken, andererseits bei niedriger Temperatur Fluoreszenten und Milchsäure-Bakterien fördernd aufeinander einwirken.

Keimgehalt der verschiedenen Milchsorten. Daß Zahl und Art der in der Handelsmilch vorkommenden Mikroben sehr ungleich sein können und sein müssen, liegt auf der Hand. Es ist aber dringend notwendig, daß diese Einsicht sowohl bei den Milch-Produzenten, wie bei den Milch-Händlern, wie namentlich auch bei den Milch-Konsumenten immer festere Gestalt annimmt und die Frage nach der Qualität der Milch allenthalben angemessene Beachtung findet. Milch und Milch ist oft durchaus nicht dasselbe, sondern etwas himmelweit Verschiedenes. Eine richtige Einteilung und Bewertung der im Handel vorkommenden Milchsorten nach deren Keimgehalt ist vorerst nur vereinzelt anzutreffen. Es bleibt in dieser Hinsicht noch sehr viel zu tun.

In den Vereinigten Staaten von Nordamerika sind Produktion und Absatz keimärmer Milch durch die zu diesem Zwecke gebildeten „Medical Milk Commissions“ bereits ziemlich gut geregelt worden. Als Maximal-Keimzahlen wurden für diese „certified milk“ 5000 oder 10000 Keime pro ccm festgesetzt. In frischer Milch lassen sich diese Grenzwerte wohl inne halten. Bei der Aufbewahrung werden sie jedoch leicht überschritten. In keimärmer Vorzugsmilch einer Berliner Milchvieh-Haltung wurden beispielsweise pro ccm gezählt

in frischem Zustande	nach eintägiger Aufbewahrung
1000—7000	127000—2000000

In Deutschland stehen zwar für das Bier fast immer, für die Milch aber nur sehr selten mit Kühl-Einrichtungen versehene Eisenbahn-Transport-Wagen zur Verfügung. Für einen nicht in oder dicht bei der Stadt wohnenden Milch-Produzenten würde es infolgedessen sehr schwierig, wenn nicht unmöglich sein, eine regelmäßig nur 5000 Keime

¹⁾ Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 31, 1911, S. 129—174.

enthaltende Milch auf den Markt zu bringen. In Leipzig ist die Höchstzahl für Vorzugsmilch auf 50000 festgesetzt worden. Diese Grenze läßt sich schon eher — auch bei einem längeren Bahn- und Wagen-Transport — innehalten.

Für die gewöhnliche Markt-Milch sind in den Großstädten der nordamerikanischen Union z. T. gleichfalls Maximal-Keimzahlen aufgestellt worden. Einige Städte haben sie auf 100000, andere auf 500000 normiert. Bei genauer Kontrolle wird im günstigen Falle vielleicht die Hälfte, eventuell aber auch nur ein viel kleinerer Bruchteil aller Proben dieser Bestimmung entsprechen. Z. B. enthielten in Chicago nur $12\frac{1}{2}\%$ aller untersuchten Proben (nicht pasteurisierter) Milch weniger als 500000 Keime pro ccm, meist fanden sich 5 oder 10 Millionen, obwohl der Verkauf von Milch mit mehr als 3 Millionen Keimen pro ccm in Chicago polizeilich verboten ist!¹⁾ In Washington sind nur 3 Klassen von Milch zugelassen: 1. Milch von gesunden Kühen mit weniger als 10000 Keimen, 2. ebensolche mit weniger als 100000 Keimen, 3. pasteurisierte Milch. Später angestellte ausgedehnte Untersuchungen lehrten, daß der durchschnittliche Keimgehalt beim Eintreffen der Milch in Washington sich auf 9,3 Millionen pro ccm belief; keine Probe enthielt weniger als 1 Million²⁾. Auf das Für und Wider in bezug auf die pasteurisierte Handelsmilch komme ich in der nächsten Vorlesung zu sprechen. Hier will ich zunächst nur noch darauf hinweisen, daß man neuerdings in Amerika das Schwergewicht augenscheinlich nicht mehr so sehr auf den Erlaß derartiger Verordnungen legt, die doch nur auf dem Papier ein wenig rühmliches Dasein fristen können. Belehrung, Beratung und Beaufsichtigung der Milch-Produzenten wie der Milch-Händler stehen gegenwärtig dies- wie jenseits des Ozeans mit Recht im Vordergrund des Interesses. Mit Hilfe des glänzenden Organisations-Talentes, das die Amerikaner auszeichnet, ist man auf ein — in allen Einzelheiten zwar noch nicht feststehendes — „scoring system“ gekommen, ein Prüfungs-Verfahren, das auch in Europa alle Beachtung verdient³⁾.

In den europäischen Staaten läßt die Milchproduktion im allgemeinen in bakteriologischer Hinsicht noch recht viel zu wünschen übrig. Verhältnismäßig am günstigsten liegen die Dinge vielleicht in Dänemark, wo durch das Vorherrschen sehr zweckmäßig eingerichteter Milchver-

¹⁾ G. M. WHITAKER, U. S. Department of Agriculture, Bureau of Animal Industry, Bull. 138, 1911; L. RUSSEL and HASTINGS, Agricultural Bacteriology 1909, p. 91.

²⁾ J. J. KINYOUN and L. V. DEITER, Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 34, 1912, S. 170.

³⁾ Vergl. hierzu H. A. HARDING, Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 34, 1912, S. 70, New York Agric. Exp. Station (Geneva) Bulletin 337; W. K. BRAINERD and W. L. MALLORY, Virginia Agric. Exp. Station Bulletin 194, 1911.

sorgungs-Gesellschaften nicht nur die Produzenten, sondern auch die Händler-Kreise zu Fortschritten gedrängt werden¹⁾). Zugleich wird Verständnis und Interesse für derartige Fragen bei den Milchkonsumenten hervorgerufen, und damit auch die Neigung, der besseren Ware einen höheren Preis zuzubilligen.

In Deutschland schreiben zwar die Polizei-Verordnungen in der Regel dem Produzenten alle bei der Gewinnung und Behandlung zu beachtenden Einzelheiten vor. Wie wir sahen, werden sie allerdings mitunter besser nicht befolgt. Dagegen fehlt es noch sehr an einer zweckentsprechenden Organisation des Milch-Handels. In vielen Städten betreibt eine ganze Schar von Leuten Milch-Handel, die weder die nötigen Kenntnisse noch die erforderlichen Mittel zur sachgemäßen Führung des Geschäftes haben. Namentlich sind Kühl-Einrichtungen in solchen Zwergbetrieben geradezu eine Seltenheit. Kann es dann überraschen, daß eine Milch, die vielleicht den ländlichen Stall in recht guter Beschaffenheit verließ, nach stundenlangem Transport im heißen Bahnwagen und nach längerem Stehen in einem warmen, von Fliegen schwärmen und allen möglichen Gerüchen erfüllten Kramladen eine höchst fragwürdige Beschaffenheit annimmt? Der Lumpen-Handel darf in Deutschland nur von Personen ausgeübt werden, die von der Behörde die Konzession hierfür erlangt haben. Wem aber wegen mangelnder Vertrauenswürdigkeit die Konzession zum Lumpenhandel entzogen wird, der kann sich dann ohne weiteres dem Milchhandel zuwenden!

Je mehr die Städte anwachsen, umso verschiedenartiger wird die Qualität der Milch. Auf der einen Seite steht die Vorzugsmilch mit etwa 20000 Keimen, auf der anderen Seite die gewöhnliche Marktmilch mit 5, 10 und mehr Millionen pro ccm. Daß besonders während der Sommermonate unter den soeben geschilderten Verhältnissen die im Handel befindliche Milch gelegentlich auch 100 oder 150 Millionen pro ccm enthält, kann nicht überraschen.

Da es nun aber auch in den meisten Haushaltungen sehr oft an den für eine sachgemäße Aufbewahrung der Milch erforderlichen Einrichtungen fehlt, so wächst die Keimzahl immer weiter an. Nicht selten tritt dann schon am Nachmittag oder doch am Abend des ersten Tages Gerinnung ein, während eine einwandfrei gewonnene Milch mehrere Tage, ja sogar wochenlang süß bleibt.

O. SCHROETER hat in seinem Laboratorium den Keimgehalt der Leipziger Handelsmilch in der Weise ermittelt, daß die Proben sogleich nach der Entnahme am Morgen zur Untersuchung gelangten. Dagegen wurden von W. BORCK entsprechende Zählungen jedesmal erst am

¹⁾ O. JENSEN, *Revue générale du lait*, T. 8, 1910, p. 49.

Spätnachmittag ausgeführt, nachdem die Milch tagsüber, wie leider noch in den meisten Fällen, ohne Schutz gegen die Einwirkung der Sommerwärme gestanden hatte. Es fanden sich pro ccm

	Vorzugsmilch	gewöhnliche Marktmilch
morgens	1 955—86 500	27 500—142 Millionen
abends	360 000—85 Millionen	3 $\frac{1}{2}$ —16 200 "

Wie sehr der Keimgehalt der Milch überhaupt erst nach dem Verlassen der Produktions-Stätte anwächst, könnte ich an sehr zahlreichen Befunden erweisen. Im großen Durchschnitt gestaltet sich das Bild etwa wie folgt:

Keime pro ccm	im Melk- eimer	im Sammel- gefäß	im Trans- port-Gefäß	6 Stunden nach der Gewinnung	12 Stunden
Trinkmilch	3 000	10 000	20 000	40 000	100 000
Haushaltsmilch	100 000	200 000	300 000	600 000	3 000 000

Man hat mehrfach geglaubt, einen Parallelismus zwischen Keimzahl und Schmutzgehalt der Milch statuieren zu können. Die sehr einfach (mittels Filtration durch Watte) auszuführende Schmutz-Probe würde danach einen Anhalt für die bakteriologische Beschaffenheit der Milch gewähren. Das trifft indessen nur relativ selten zu. Denn man strebt ja, besonders in großstädtischen Molkereien, mit aller Sorgfalt danach, durch Filtrieren und Zentrifugieren den etwa in die Milch gelangten Schmutz nachträglich wieder daraus zu entfernen. Tatsächlich werden dabei freilich nur die unlöslichen Bestandteile des Milchschmutzes entfernt. Die löslichen Bestandteile und ebenso die Bakterien bleiben in der Milch. Stets wird eine verschmutzte Milch auch keimreich sein. Für eine nachträglich gereinigte Milch kann das jedoch ebenso, vielleicht sogar in noch höherem Grade zutreffen.

Sicher ist eine möglichst niedrige Keimzahl bei Trinkmilch sehr erstrebenswert, während es bei der zu Koch- und Backzwecken verwendeten Haushaltsmilch aus naheliegenden Gründen damit viel weniger auf sich hat.

Vor allem darf aber über der Zahl nicht der viel wichtigere Einfluß der Art der vorhandenen Mikroben vergessen werden. 10 Typhus- oder Cholera-Bakterien sind zweifellos höchst bedenklich, während 100 Millionen Milchsäure-Bakterien ohne Bedeutung oder sogar nützlich sein können. Es ist in der Tat gar nicht so selten, daß bei Berücksichtigung der Qualität der Bakterien einer relativ keimreichen Milch, deren Mikroflora fast nur aus Milchsäurebakterien besteht, der Vorzug vor einer keimarmen Milch eingeräumt werden muß, in der die Milchsäurebakterien fast vollständig fehlen. Denn in dieser können sich schädliche Organismen viel leichter entwickeln, die in jener fast ganz unterdrückt werden.

Daß durch Milch pathogene Mikroorganismen übertragen werden können, ist bekannt. Tuberkulose, Typhus, sowie Maul- und Klauenseuche stehen an erster Stelle. Die Sammel-Molkereien geben — trotz ihrer mannigfachen Vorzüge — gerade in dieser Hinsicht am ehesten zu ernsten Bedenken Veranlassung. Die Polizei-Verordnungen untersagen es, eine Milch in den Verkehr zu bringen, die Krankheits-Erreger enthält. Würde streng danach verfahren, so dürfte die Milch aus Sammel-Molkereien allenfalls nur in pasteurisiertem Zustande abgegeben werden. Die Möglichkeiten zu einer allgemeinen Infektion der Milch sind hier täglich gegeben.

Zu denjenigen Krankheits-Erregern, gegen die jetzt in manchen Städten besonders energisch Front gemacht wird, gehören die Mastitis-Streptokokken. Sie sollen namentlich bei Kindern zu Darmerkrankungen (Enteritis) Veranlassung geben. Bei sehr Streptokokken-reicher Milch aus wirklich entzündeten Eutern wird man diese Möglichkeit durchaus nicht in Abrede stellen wollen. Im übrigen hat man indessen sehr oft mit negativem Resultat versucht, ein pathogenes Verhalten der betreffenden Streptokokken im Experiment zu erweisen. Ich habe bereits hervorgehoben, daß schleichende Streptokokken-Mastitiden außerordentlich verbreitet sind. Ob solche nur auf bakteriologischem Wege als nicht einwandfrei erkennbare Milch wirklich gesundheitsschädlich ist, steht noch dahin. Mit Recht wird man fordern dürfen, daß die zu höherem Preise gelieferte Vorzugsmilch frei von Mastitis-Streptokokken sein soll. Von der gewöhnlichen, billigen Haushaltsmilch kann das gleiche offenbar nicht verlangt werden. Ein Drittel, mitunter auch die Hälfte aller Milch müßte bei rigoroser Anwendung jener Vorschrift vom Verkehre ausgeschlossen werden.

Die Prüfung der Milch erfolgt in diesem Falle mit Hilfe der von R. TROMMSDORFF in Vorschlag gebrachten Schleuder- oder Leukozyten-Probe. In einer kleinen Zentrifuge (nach Art der in Abb. 36 reproduzierten) wird die zu je 10 ccm in unten verengte Gläschen (Abb. 37) gefüllte Milch einige Minuten sehr rasch geschleudert. Stammt die Milch aus einem entzündeten Euter, so sieht man dann gewöhnlich in dem verengten Teile des Gläschens einen hell rahmgelb gefärbten Absatz. Die mit 1 und 2 bezeichneten Teilstriche entsprechen 1 resp. 2 Teilen auf 1000. Früher glaubte man, daß 1‰ und noch sicherer 2‰ Sediment das Vorhandensein von Mastitis erweise. Das war ein Irrtum, der manchem Milchproduzenten sehr nachteilig wurde. Denn das Verfahren fand stellenweise schon in dieser ganz unvollkommenen Form sofort für polizeiliche Milchprüfungen Verwendung. Heute wird es nicht mehr bestritten, daß nur das mikroskopische Aussehen des Sedimentes ein einigermaßen sicheres Urteil gestattet. Das

typische Bild ist in Abb. 38 wiedergegeben. Nur das gleichzeitige Vorhandensein von Leukozyten und von Streptokokken in der für Mastitis charakteristischen Form gestattet im einzelnen Falle ein ziemlich sicheres Urteil. In der 2. Vorlesung habe ich



Abb. 36. Zentrifuge zur Milchprüfung ($\frac{1}{6}$ nat. Gr.).



Abb. 37. Schleudergläschen nach TROMMSDORFF ($\frac{1}{2}$ nat. Gr.).

auf die oft wahrnehmbare Verschiedenheit in der Gestaltung von Milchsäure- und von Mastitis-Streptokokken hingewiesen (S. 22 und Tafel I, Fig. 2 und 3). Leider sind aber diese Differenzen durchaus nicht immer wahrnehmbar und gar nicht selten sind harmlose Milchsäure-Streptokokken von hygienischen Heißsporren für höchst gefährliche Mastitis- resp. Enteritis-Streptokokken angesprochen worden. Daß auch in gesunden Eutern Streptokokken vorkommen können, erwähnte ich zu Beginn dieser Vorlesung (S. 231). Andererseits kann ebenfalls bei völlig gesunden Tieren aus manigfachen Anlässen vorübergehend eine starke Ausscheidung von allerhand Zell-Bestandteilen in der Milch eintreten. Man hat hier von einer „physiologischen Leukozytose“ gesprochen, obwohl es sich (streng genommen) bei diesen Zell-Elementen oft nicht um echte Leukozyten handelt. In Mischmilch können also Leukozyten und Streptokokken aus verschiedenen Quellen zusammentreffen. Bei einem verdächtigen Befund muß zunächst weiter nachgeforscht werden. Nur die Untersuchung am einzelnen Tiere — bei aseptischer Milch-Entnahme — ist entscheidend. Es wäre sehr wünschenswert, daß



Abb. 38. Mikroskopisches Bild des Schleuderrückstandes aus Mastitis-Milch (1000fach vergr.).

diese durch überaus zahlreiche Untersuchungen sichergestellten Gesichtspunkte in den beteiligten Kreisen allgemein bekannt wären. Übereilte behördliche Maßnahmen haben gerade in dieser Hinsicht schon recht viel Schaden gestiftet.

Biologische Milchprüfung. Die genaue Feststellung der Keimzahl in Milch (mittels Gußkultur oder auf mikroskopischem Wege) ist nur im bakteriologischen Laboratorium möglich. Da aber auch für den Milchhandel und in Molkereien eine annähernde Abschätzung der biologischen Beschaffenheit der verschiedenen Milchproben oft wünschenswert ist, so hat man allerhand für diesen Zweck mehr oder minder geeignete Methoden in Vorschlag gebracht.

Die (in verschiedener Weise ausführbare) Säure-Prüfung der Milch ist ebenso wie die Alkohol-Probe (bei der die Milch gewöhnlich mit dem gleichen oder dem doppelten Volumen 68—70-proz. Alkohol vermischt wird) für Molkereien zweifellos wertvoll. Die Säureprüfung weist nach, wie weit die Säuerung vorgeschritten ist, während die Alkohol-Probe erkennen läßt, ob die Milch dicht vor der Gerinnung steht, oder ob sie das Pasteurisieren bezw. das Kochen noch verträgt oder nicht. Auch im Haushalt kann die Alkoholprobe, namentlich in der zuletzt erwähnten Modifikation mit Nutzen Verwendung finden. Dagegen geben diese Proben bei der Kontrolle der Handelsmilch verhältnismäßig nur sehr selten einen brauchbaren Anhalt. Vielleicht wird hier die Titration mit konzentrierterem Alkohol zu besseren Resultaten führen.

Als „Alizarol“-Probe wird neuerdings die Prüfung der Milch mittels eines mit Alizarin versetzten 68-proz. Alkohols empfohlen. Die Farbenänderung soll hier gewisse Anhaltspunkte geben, ob saure oder lab-artige Gerinnung vorliegt. Da der Farben-Umschlag erst bei relativ hohem Säuregehalt eintritt, hat auch dieses Verfahren für die Beurteilung normaler Handelsmilch keine Bedeutung.

Allgemein anwendbar ist dagegen die Reduktionsprobe. Je 40 ccm Milch werden mit 1 ccm einer Methylenblau-Lösung von bestimmter Konzentration versetzt und dann bei 38—40° C beobachtet, wie lange Zeit es dauert, bis Entfärbung eintritt (s. S. 70). Da die Methylenblau-Präparate der verschiedenen Fabriken nicht immer gleiche Resultate liefern, sind als internationale Norm die von der Firma BLAUFELDT und TVEDE in Kopenhagen hergestellten Tabletten in Vorschlag gebracht worden. In Dänemark und Schweden wird die Reduktionsprobe von den Milchversorgungs-Gesellschaften in ziemlich ausgedehntem Maße zur Klassifizierung der Milch benutzt. Man ist dort auf Grund der Arbeiten von O. JENSEN und CHR. BARTHEL zu folgender Einteilung gelangt¹⁾:

¹⁾ Milchwirtschaftl. Zentralblatt, Bd. 41, 1912, S. 417.

Milch-Klasse	I	II	III	IV
Reduktionszeit .	$> 5\frac{1}{2}$ Std.	$5\frac{1}{2}$ —2 Std.	2 Std.—20 Min.	< 20 Min.
Milch-Qualität .	gut	mittel	schlecht	sehr schlecht
Keimgehalt . .	< $\frac{1}{2}$ Million	$\frac{1}{2}$ —4 Millionen	4—20 Millionen	> 20 Millionen

Soweit das Verfahren für private Zwecke Verwendung findet, kann es sicher recht nützlich sein. Dagegen ist es zweifellos zu wenig genau, um weitergehende, speziell behördliche Maßnahmen darauf zu gründen. Das zeigt ein Blick auf die Reduktions-Kurve in Abb. 39 zur Genüge. Analoge Ergebnisse liegen schon in recht großer Zahl vor.

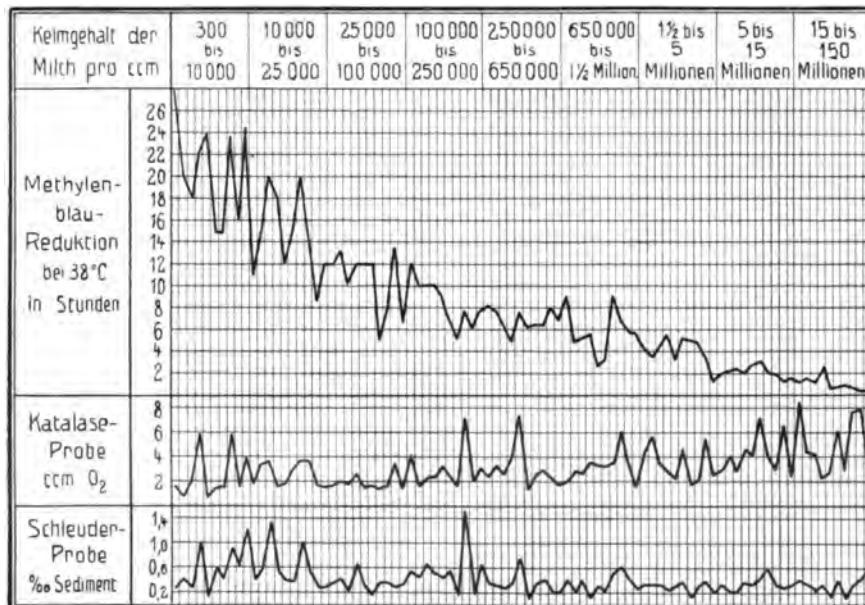


Abb. 39. Ergebnisse der Reduktions-, Katalase- und Schleuder-Probe bei 90 Leipziger Milchproben verschiedenen Keimgehalts nach Untersuchungen von O. SCHROETER.

Eine andere Methode zur biologischen Prüfung der Milch ist die Katalase-Probe. Die Milch wird hier mit Wasserstoff-Superoxyd versetzt und es wird dann nach einiger Zeit ($1\frac{1}{2}$ —2 Stunden) festgestellt, wie groß die Mengen an Sauerstoff sind, die in Freiheit gesetzt wurden. Das Verfahren ist von zahlreichen Autoren sehr hoch eingeschätzt worden. Indessen hat sich bei vergleichenden Prüfungen ergeben, daß die Ergebnisse fast vollständig mit denjenigen der (viel einfacher ausführbaren) Schleuder-Probe übereinstimmen (Abb. 39). Die Sauerstoff-Abspaltung beruht größtenteils auf der katalytischen Wirkung der in der Milch vorhandenen Zellbestandteile. Die Bakterien wirken im allgemeinen nur sehr wenig ein, speziell die Milchsäure-Bakterien so gut wie gar nicht,

deshalb steigt auch die Katalase-Kurve bei den keimreicherem Milchsorten nur sehr wenig an (Abb. 39).

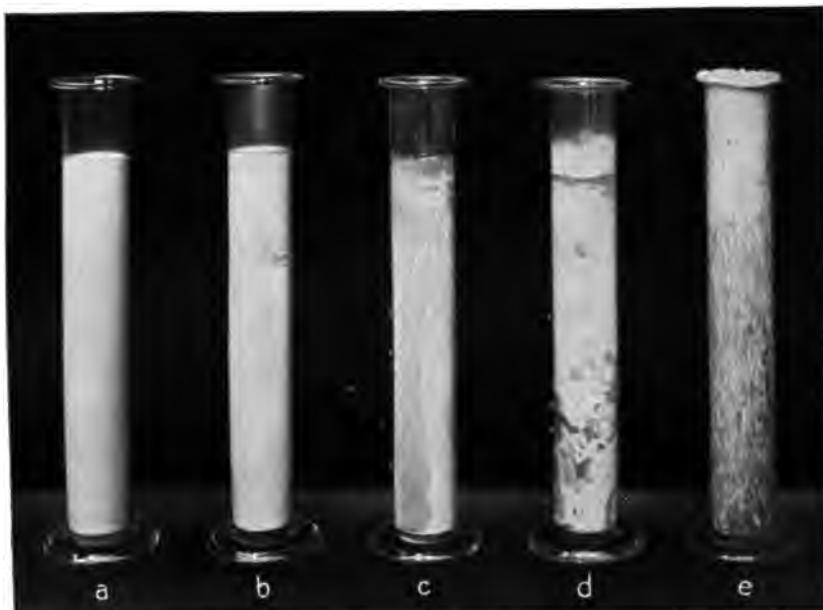
Recht wertvolle Aufschlüsse gibt dagegen die Milch- und die Lab-Gärprobe, die besonders in den Käserei-Betrieben der Schweiz schon seit Jahrzehnten üblich ist. Auch nach Amerika ist sie durch Schweizer Käser verpflanzt worden; als „Wisconsin curd test“ hat sie sich auch dort sehr bewährt. Die Milch wird hier ohne oder mit Zusatz von Lab längere Zeit (meist 12 Stunden) im 38—40° C warmen Wasserbade gehalten. Der Ausfall der Gärprobe gewährt weniger einen Anhalt über die Keimzahl als vielmehr über die Qualität der vorhandenen Keime. Man kann die Gärprobe eventuell mit der Reduktionsprobe zur „Gär-Reduktase-Probe“ (nach O. JENSEN) vereinigen.

Einige der charakteristischsten Bilder, die sich bei der Gärprobe herausstellen können, zeigt Tafel X. Die Milch (ohne Labzusatz) bleibt, wenn sie keimarm ist, flüssig (Fig. 1a), bei einem fast reinen Bestande an Milchsäure-Bakterien liefert sie ein gleichmäßig gallertiges Koagulum, das keine oder nur wenig Molken-Abscheidung zeigt (Fig. 1b). Herrschen Lab-produzierende Arten vor, so kommt es zur käsigen Gerinnung (Fig. 1c). Gasbildner bedingen die sogen. „Blähung“, und zwar liefern Coli-Aërogenes-Formen meist das unter 1d, Buttersäure-Bakterien das unter 1e wiedergegebene Bild. Bei Lab-Zusatz entstehen je nach der Häufigkeit der Gasbildner mehr oder weniger regelmäßig geformte, teils wenig teils stark gelochte Käschchen. Ausgedehnte Prüfungen haben ergeben, daß die Gärproben auch zur Beurteilung von Trink- und Haushalts-Milch mit großem Nutzen herangezogen werden können. Desgleichen sind sie für die Betriebs-Kontrolle, speziell für die Feststellung des Einflusses, den Luft, Wasser und andere Infektionsquellen auf die Milch ausüben, in sinngemäßer Anwendung höchst wertvoll.

Mastitis-Milch zeigt in der Gärprobe den gleichen rahmgelben Absatz, den man bei der Schleuderprobe erhält. Man hat demgemäß empfohlen, verdächtige Milch in oben trichterförmig erweiterten, unten zugespitzten Gläsern (ERNSTschen Euterprüfern) aufzufangen und einer entsprechenden Kontrolle zu unterziehen. Selbstverständlich hat diese nur einen orientierenden Charakter.

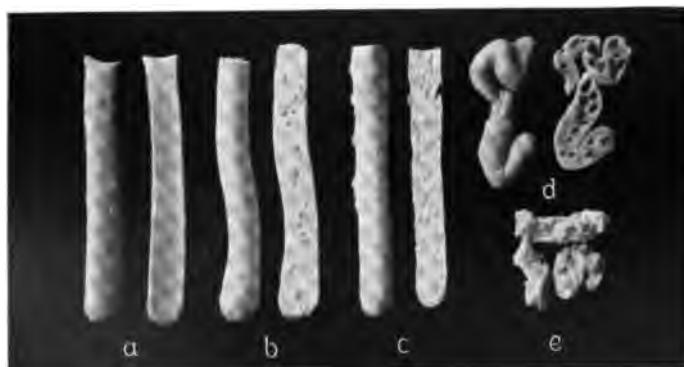
Sämtliche Methoden der biologischen Prüfung der Milch, — die man, da sie wenigstens z. T. auf Enzym-Wirkung beruhen, wohl auch als Enzym-Reaktionen bezeichnet — können aber niemals die ständige Überwachung der Gesundheit des Personals und des Viehbestandes ersetzen, die namentlich bei der Produktion von Vorratstmilch unbedingt notwendig ist.

Tafel X.



1. Milch-Gärproben.

a Flüssig b Gallertige c Käsige d Starke e Sehr starke
gebliebene Gerinnung, Gerinnung, Blähung Blähung
Milch. wenig Molken. viel Molken. (B. coli). (B. amylobacter).



2. Lab-Gärproben.

a Glatt, b Fast glatt, c Uneben, d Unregelmäßig,
ohne ziemlich viel viel schwammig.
Löcher. Löcher. Löcher. e Lose, zerrissen.



M. y. 1

17. Vorlesung.

Milch-Bakteriologie (Schluß): Normale und abnorme Änderungen der Milch. **Maßnahmen zur Herabsetzung des Keimgehaltes der Milch.** — Kefir, Kumiß, Jaourt usw.

Normale und abnorme Änderungen der Milch. Aseptisch gewonnene Milch hält sich in der Regel — namentlich wenn man sie bei niedriger Temperatur aufbewahrt — wochenlang fast unverändert. Die gewöhnliche, mehr oder minder keimreiche Milch zeigt dagegen nach einem oder einigen Tagen gewisse Änderungen, die man als normal ansehen kann. Zunächst macht sich ein säuerlicher Geruch und ein ebensolcher Geschmack bemerkbar. Bei fortschreitender Säuerung gerinnt dann die Milch. Legt man von solcher Milch eine Agar-Gußkultur an, der man bei der Anfertigung ein wenig Kreide zusetzte, so erhält man ein Bild, wie es in Abb. 40 wiedergegeben wurde. Die säurebildenden Kolonien umgeben sich mit einer klaren Zone. Die gebildete Säure hat hier die Kreide aufgelöst.

Wird sauer gewordene Milch, was ja allerdings kaum jemals geschieht, unter Luftabschluß aufbewahrt, so erfährt sie weiterhin nur ganz geringfügige Änderungen. Die Säure tötet alles Leben in der Milch ab; allein etwa vorhandene Enzyme wirken weiter, soweit sie nicht ebenfalls säureempfindlich sind.

Lassen wir dagegen die sauer gewordene Milch bei freiem Luftzutritt stehen, so siedeln sich an der Oberfläche Pilze an. Diese veratmen die Säure. Die Reaktion wird wieder neutral oder alkalisch. Den Pilzen gesellen sich allerhand Bakterien, namentlich auch an-



Abb. 40. Kreide-Agar-Gußkultur mit verschiedenen Milchbakterien ($\frac{2}{5}$ nat. Gr.).

aërope Arten hinzu. Diese nunmehr sehr komplizierte Mikroflora zerstört sowohl die Eiweißstoffe wie das Fett wie den noch vorhandenen Zucker. Immer neue Schimmelpilzdecken bilden sich an der Oberfläche, in der Tiefe finden intensive Fäulnis-Vorgänge statt. Schließlich erinnert die gelb bis braun gefärbte, höchst übelriechende Flüssigkeit in keiner Weise mehr an Milch.

Ausnahmsweise treten nun aber auch schon in den ersten Stunden und Tagen, also ehe die Milch verzehrt oder verarbeitet wird, mancherlei abnorme Änderungen ein. Fehlt es an einem reichen Bestand an Milchsäure-Bakterien, so kommt es nicht zur normalen Säure-Bildung. Statt dessen kann die „käsig“ Gerinnung eintreten, die dem Wirken labproduzierender Organismen zuzuschreiben ist. Auch mit dem Auftreten unangenehm riechender und schmeckender Stoffe verbundene Fäulniserscheinungen sind in solcher Milch, namentlich in tropischen Ländern, keineswegs selten. Abnorme Änderungen im Aussehen, in der Konsistenz, im Geruch und Geschmack sind zwar im modernen Milchwirtschafts-Betriebe nicht mehr so häufig wie zur Zeit unserer Großväter. Immerhin muß stets mit derartigen Erscheinungen gerechnet werden. Gründliche Kenntnisse auch auf diesem Gebiete erweisen sich jedenfalls von Zeit zu Zeit als sehr nützlich.

Mitunter zeigt die Milch schon beim Verlassen des Euters eine abnorme Beschaffenheit. Meist treten jedoch die fraglichen Änderungen erst während der Aufbewahrung hervor. Die Ursachen liegen teils auf chemischem, teils auf bakteriologischem Gebiete. Bei der Besprechung der einzelnen Umsetzungen werde ich das sogleich näher darlegen. Nur das sei von vornherein hervorgehoben, daß die in der Milch selbst vorhandenen Enzyme hierbei kaum in Frage kommen. Sofern überhaupt eine Wirksamkeit echter Milch-Enzyme erkennbar ist, hat sie sich doch stets als so schwach erwiesen, daß sie praktisch im Vergleich mit der Tätigkeit der Bakterien gar nicht in Betracht gezogen werden kann. Dagegen spielt z. B. die Licht-Wirkung bei der Fettersetzung unter Umständen eine recht beachtenswerte Rolle.

In bezug auf die abnormen Änderungen der Milch, also beim Auftreten der sogen. „Milchfehler“ ist ein Punkt immer mit im Auge zu behalten. Es ist das die „Disposition“ der Milch, d. h. die Neigung, die betreffende fehlerhafte Änderung zu erleiden. Wir wissen, daß bei dem tierischen Organismus selbst die Disposition zur Erkrankung sehr wesentlich mit darüber entscheidet, ob es zum Ausbruche der Krankheit kommt oder nicht. Wir wissen aber auch, daß trotz emsiger Arbeit vieles auf dem Gebiete der Disposition und der Immunität des Körpers noch ziemlich dunkel ist. Aber nicht nur das Blut ist „ein ganz besonderer Saft“. Für die Milch gilt das gleiche. Einstweilen liegt in-

dessen die Sache noch so, daß jene Disposition der Milch meist so gut wie gar nicht berücksichtigt wird. Man glaubt, wenn man nur irgend einen Bazillus als Erreger des Milchfehlers entdeckt hat, es sei damit alles erklärt. Tatsächlich lehrt aber eine eingehendere Beschäftigung mit dem Gegenstande, daß es gar nicht so selten vorkommt, daß ein und dieselbe Bakterienart in verschiedenen Milchsorten ein zuweilen recht ungleiches Verhalten zeigt. Für das oft sprunghafte Auftreten und Verschwinden von Milchfehlern im praktischen Betriebe ist die „Disposition“ der Milch sicher von Bedeutung.

Wenden wir uns nun zunächst der wichtigsten Umsetzung in der Milch zu, d. h. der Zersetzung des Milchzuckers. Neben Milchsäure können aus ihm verschiedene andere Säuren, ferner — speziell in Kumiß und Kefir — Alkohol und Kohlensäure entstehen. Nur ausnahmsweise kommt es zu einer vollständigen Umsetzung des Zuckers, meist bleibt ein ansehnlicher Teil in der ursprünglichen Form zurück.

Die normale Azidität frischer Milch beruht nicht, wie mehrfach angenommen wurde, auf einem Gehalt an Milchsäure. Auch wenn sich reichlich Säure-produzierende Streptokokken im Euter eingenistet haben, enthält die frisch ermolkene Milch noch keine Milchsäure. Neben den in der Milch vorhandenen sauren Phosphaten und der Zitronensäure ist der Käsestoff sehr wesentlich an der ursprünglichen Azidität der Milch beteiligt. Je nach dem Reichtum der Milch an Säure-Bildnern wird früher oder später ein Ansteigen des Säuregrades bemerkbar. Die bis dahin verstrechende Zeit wird von manchen Autoren als „Inkubations-Stadium“ bezeichnet. Die Milchsäure-Bakterien vermehren sich zwar von Anfang an recht lebhaft in der Milch. Doch ist von ihrer Wirkung vorläufig noch nichts zu spüren. Erst wenn nach voraufgegangener kräftiger Wucherung der Mikroben die säurebildenden Enzyme der lebenden und der toten Zellen in Tätigkeit getreten sind, wird die Säuerung deutlich. Wie ich früher (S. 141) darlegte und wie wir es auch an den Kurven sahen, die uns die Vorgänge im Sauer-Mais vor Augen geführt haben, liegt das Maximum der Bakterien-Entwicklung stets vor dem Maximum der Säure-Produktion.

Es wird zwar gelegentlich immer einmal wieder behauptet, Bakterien-Entwicklung und Säure-Produktion gingen einander parallel. O. RAHN hat dies neuerdings zu erweisen versucht¹⁾. Indessen stellten sich auch bei diesen Experimenten z. B. folgende Relationen (in runden Zahlen) heraus:

Änderung	nach 9	12	15	18	21	24	27	Stunden
der Keimzahl . . .	+ 20	+ 90	+ 300	+ 700	+ 200	+ 100	- 150	Millionen
des Säure-Grades . . .	+ 1	+ 1	+ 4	+ 22	+ 20	+ 5	+ 2	

THÖNI hatte schon früher u. a. Werte erhalten wie die nachstehenden²⁾:

¹⁾ Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 32, 1912, S. 375.

²⁾ Landwirtsch. Jahrbuch der Schweiz, Bd. 20, 1906, S. 237.

Zahl	nach	24	48	72	nach	24	48	72 Stunden
der Säure-Bakterien . . .	37,5	70	112,5		450	360	222 Millionen	
der Säure-Grade . . .	6,5	9,0	10,0		11,0	13,5	14,5	

Gerade sehr kräftige Stämme von Milchsäure-Bakterien zeigen besonders bei erhöhter Temperatur oft schon am ersten Tage das Maximum der Keimzahl, das nicht selten auf mehrere tausend Millionen ansteigt, während die Säure-Bildung erst in den nachfolgenden Tagen wirklich intensiv wird.

Das Absterben der Milchsäure-Bakterien geht bei hoher Temperatur gewöhnlich sehr rasch vor sich. Nach achtäigiger Aufbewahrung trifft man in saurer Milch meist nur noch sehr wenig lebende Keime an. Am längsten bleiben sie bei tiefen Temperaturen, bei oder unter 0° C am Leben. Hier wird nicht selten erst nach Monaten der Keim-Rückgang deutlich.

Über die Arten und Gruppen der Milchsäure-Bakterien habe ich in der 12. Vorlesung das Wichtigste mitgeteilt. Daß diese Organismen bei künstlicher Züchtung ziemlich leicht in ihrem Säurebildungs-Vermögen zurückgehen oder zu Schleimbildnern werden können, ist uns gleichfalls bekannt. Diese Tatsache ist in verschiedener Richtung, namentlich im Hinblick auf die Rahmreifung von nicht geringer Wichtigkeit. Neben Mikrokokken, Streptokokken, Laktobazillen und Darm-Milchsäure-Bakterien können zwar auch noch einige sporenbildende Bazillen sowie manche Vibrionen (z. B. der Cholera-Vibrio) Milchsäure bilden, doch ist das praktisch fast ganz bedeutungslos. Wichtiger ist, daß auch Hefen zur Auslösung dieses Prozesses befähigt sind: Sie können für die Rahmreifung Verwendung finden. Dabei handelt es sich nicht etwa nur um die früher (S. 181) besprochene Symbiose von Hefen und Milchsäurebakterien. Die betreffenden Sprosspilze selbst sind als Säure-Bildner tätig.

Ob die eine oder die andere Gruppe von Milchsäure-Bakterien vorherrscht, richtet sich 1. nach der Infektionsquelle, 2. nach der Höhe der Temperatur, 3. nach der Stärke des Luftzutrittes und 4. nach der Qualität der Milch.

Über die Herkunft der verschiedenen Milchsäure-Bakterien sind wir bereits orientiert. Die Darm-Milchsäure-Bakterien (Coli-Aërogenes-Formen) stammen vorwiegend aus den Exkrementen, außerdem finden sie sich in den Gefäßen, namentlich dann, wenn das zu deren Reinigung benutzte Wasser nicht einwandfrei war. Die Milchsäure-Streptokokken gelangen meist mit Haaren, Hautschuppen und aus den Gefäßen in die Milch, seltener aus dem Euter oder aus dem Kot. Die Milchsäure-Mikrokokken entstammen vorwiegend der Luft und den Gefäßen; auch im Euter kommen sie vor, doch fast immer nur in geringer Zahl. Die Laktobazillen haben ihren eigentlichen Standort in Magen und Darm der mit Milch ernährten Tiere (s. S. 226). Doch

fehlen sie auch nicht gänzlich in den Exkrementen erwachsener Tiere, im Boden und im Futter, speziell im Sauerfutter. Infolgedessen sind sie eine regelmäßige Erscheinung in der in gewöhnlicher Weise gewonnenen Kuhmilch. Nur hat man sie hier bis in die neueste Zeit wegen ihres eigenartigen Verhaltens bei der Züchtung oft übersehen, bzw. mit anderen Stäbchenformen verwechselt¹⁾.

Die Temperatur wirkt im allgemeinen derart elektiv, daß unter 10° C die Milchsäure-Mikrokokken dominieren. Bei etwa 20° C herrschen die Streptokokken vor. Zwischen 30 und 40° C erhalten die Coli-Aërogenes-Formen das Übergewicht. Bei 45° C kommen fast allein noch die Laktobazillen zur Entwicklung. Daß auch diese Regel ihre Ausnahmen hat, ist selbstverständlich. Es gibt vereinzelt thermophile Mikro- und Streptokokken, wie andererseits manche Laktobazillen auch noch bei Temperaturen unterhalb 20° C gedeihen. Desgleichen fehlt es nicht an Coli-Bakterien, die bei 15 — 20° C besser wachsen, als bei höheren Wärmegraden. Gleichwohl behalten jene Gesetzmäßigkeiten ihre Bedeutung. Sie sind auch praktisch recht wichtig. Wird Milch unterhalb 10° C aufbewahrt, so können nur die meist spärlich vorhandenen Milchsäure-Mikrokokken wachsen und wirken. Solche Milch säuert deshalb erst relativ spät. Will man eine gute Sauer-Milch erhalten, so muß man sie entweder bei 15 — 20° oder bei ca. 45° C stehen lassen. Milchsäure-Streptokokken bzw. Laktobazillen treten in Tätigkeit, und zwar nahezu in Reinkultur dann, wenn von vornherein — sei es durch spontane Infektion, sei es durch Impfung — hinreichende Keimmengen in die Milch gelangt waren. Die in der Regel stark Gasbildenden Darm-Milchsäure-Bakterien werden am meisten durch eine Wärme von 38 — 40° C begünstigt, das ist eben jene Temperatur, die man seit altersher bei der Milch-Gärprobe in Anwendung gebracht hat.

Reichliche Lüftung begünstigt vorwiegend die Entwicklung von Mikrokokken und Darm-Milchsäure-Bakterien, wirkt dagegen auf Milchsäure-Streptokokken und Laktobazillen mehr oder minder hemmend ein. Manche Stämme von diesen sind ausgesprochen anaerob. In tiefer Schicht säuert infolgedessen die Milch in der Regel rascher als in flacher Schicht. In gewöhnlicher, bei etwa 20° C entstandener Sauermilch findet man in den oberen Schichten vorherrschend Mikrokokken und Coli-Aërogenes-Formen, in der Tiefe aber Milchsäure-Streptokokken. Auf Kreide-Agar-Gußkulturen (Abb. 40) bestehen von den mit einem Säure-Hof umgebenen Kolonien die größeren vorwiegend aus Angehörigen jener Gruppen, die kleineren aus Streptokokken.

¹⁾ Wm. STEVENSON, Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 30, 1911, S. 345.

Daß auch die Qualität der Milch einen elektiven Einfluß auf die Milchsäure-Bakterien ausübt, blieb lange fast unbeachtet. Zwar sah man oft genug, daß die eine Milch leichter säuerte als die andere. Man brachte das aber wohl meist — sicher z. T. auch mit vollem Rechte — mit dem ungleichen Gehalt an Milchsäure-Bakterien in Zusammenhang. Außer chemischen Differenzen im Zucker-, Eiweiß- und Kalk-Gehalt der Milch kommen hier aber auch andere (bisher gewöhnlich übersehene) biologische Momente in Frage. Die neben den Milchsäure-Bakterien in der Milch vorhandenen Mikroben-Arten üben bald in der einen, bald in der anderen Richtung einen symbiotischen oder einen antagonistischen Effekt auf die Angehörigen der in Rede stehenden Gruppen aus. Die große Zuneigung, die zwischen Hefen und Laktobazillen besteht, habe ich schon mehrmals erwähnt. Will man die sonst ziemlich schwer züchtbaren Laktobazillen mit Sicherheit an den verschiedenen Stellen im landwirtschaftlichen Betriebe nachweisen, so impft man in Molken, die man mit etwas durch Auskochen von Bäckerhefe bereitetem Extrakte versetzt hat, und kultiviert bei 40—45° C. Sind Laktobazillen überhaupt vorhanden, so kommen sie stets, und zwar oft gleich nahezu in Reinkultur, zur Entwicklung. Andere Organismen, vor allem solche mit peptonisierenden Eigenschaften, wirken wahrscheinlich ähnlich begünstigend wie die Hefen. Das kann man daraus schließen, daß die Laktobazillen, wie ein russischer Forscher, S. PARASCHTSCHUK, kürzlich festgestellt hat, besonders in solcher Milch gut gedeihen, die eine sehr zahl- und artenreiche Mikroflora besaß. Als Milch differenter Qualität nach dem Abkochen mit einem Gemisch verschiedener Milchsäure-Bakterien geimpft wurde, zeigte es sich, daß in reiner Milch allein die Säure-Streptokokken, in unreiner allein die Laktobazillen zur Entwicklung kamen. In einer Petersburger Molkerei ist diese mikrobiologische Reaktion mit Erfolg zur Beurteilung der eingelieferten Milch in Anwendung gebracht worden¹⁾. Bei der Besprechung des Jaourt und anderer orientalischer Sauermilch-Sorten werden wir uns dieser Tatsache zu erinnern haben.

Nach der Intensität der Säure-Bildung folgen die Angehörigen der vier Gruppen einander etwa — natürlich nicht ausnahmslos — in dieser (ansteigenden) Reihenfolge: Mikrokokken, Coli-Aërogenes-Gruppe, Milchsäure-Streptokokken, Laktobazillen. Allerdings säuern besonders die Streptokokken meist merklich rascher als die Laktobazillen. Dafür produzieren aber diese in der Regel viel größere Säure-Mengen. Die Streptokokken bringen es in Milch gewöhnlich bis auf 0,5—0,8 % Milchsäure, die Laktobazillen dagegen auf 1—2, eventuell sogar bis auf 3%.

¹⁾ Milchwirtschaftl. Zentralblatt, Bd. 42, 1913, S. 68.

Innerhalb jeder Gruppe finden sich Varietäten, die Rechts-Milchsäure bilden, während andere die linksdrehende, wieder andere die optisch inaktive Modifikation der Milchsäure entstehen lassen. Dieses Verhalten ist indessen nicht genügend konstant und auch kaum wichtig genug, um etwa danach eine Einteilung der Milchsäure-Bakterien vorzunehmen. Das gleiche gilt in bezug auf das Verhalten der einzelnen Stämme gegenüber den verschiedenen Zuckerarten. Bei der Impfung des Sauerfutters wies ich darauf hin, daß dort dieses differente Verhalten von Bedeutung ist. In bezug auf die Milch trifft das weniger zu. Außerdem handelt es sich auch hier um meist nicht sonderlich konstante Funktionen.

Die Milchsäure-Bildner sind bald in höherem, bald in geringerem Grade befähigt, namentlich bei Luftzutritt, die zunächst gebildete Säure weiter zu veratmen. Infolgedessen kann es unter Umständen zu einem zwar nicht sehr erheblichen, aber doch immerhin merklichen Säure-Rückgang in längere Zeit aufbewahrten Milchkulturen kommen. Praktisch steht diese Leistung aber weit zurück hinter derjenigen anderer Säurezehrender Organismen, speziell der Schimmelpilze.

Neben der Milchsäure sind in der Milch auch immer andere Säuren anzutreffen, doch meist nur in geringen Quantitäten. Während Streptokokken und Laktobazillen in der Regel fast ausschließlich Milchsäure produzieren, treten bei Mikrokokken und Darm-Milchsäure-Bakterien nicht selten nebenbei, mitunter sogar in ansehnlichen Quantitäten Ameisensäure, Essigsäure und Bernsteinsäure auf. Wichtiger als diese Erscheinung ist jedoch die Bildung von Buttersäure, die besonders in pasteurisierter, bzw. unvollständig sterilisierter Flaschen- oder Dosen-Milch nicht gerade zu den Seltenheiten gehört, namentlich dann nicht, wenn die Aufbewahrungstemperatur relativ hoch war. Die weit verbreiteten Sporen des anaeroben *Bacillus amylobacter* überstehen die Erhitzung und keimen dann (bei Temperaturen über 20° C) aus. Dagegen können sie in Milch, die Milchsäure-Bakterien enthält, keinen Schaden stiftend, da sie gegen einigermaßen ansehnliche Säuremengen meist recht empfindlich sind.

Die zugleich Essigsäure usw. bildenden Milchsäure-Bakterien lassen fast immer auch kleine Mengen Alkohol entstehen. Eine eigentliche Alkohol-Gärung findet aber auch in der Milch nur unter dem Einflusse von Hefen statt. In den „fermentierten“ Milchsorten Kefir und Kumiß beläuft sich der Alkoholgehalt auf etwa 1—2%. Die Milch-Hefen gehören teils zu den (sporenbildenden) Saccharomyzeten, teils zu den (sporenfreien) Torulazeen. Einige, aber durchaus nicht alle, greifen direkt den Milchzucker an. Neben diesen Laktose-Hefen treten nicht selten andere Arten in Tätigkeit, die der Mitarbeit der Milchsäure-Bakterien bedürfen, d. h. diese müssen erst die Laktose in Glukose und Galaktose zerlegen, ehe die Alkohol-Bildung beginnen kann.

Tritt Gasbildung in Milch auf, wie es besonders bei Temperaturen oberhalb 20° C oft genug der Fall ist, so sind meist Coli-Äerogenes-Formen, seltener Buttersäurebakterien oder Hefen da-

für verantwortlich zu machen. In den drei anderen Gruppen Milchsäurebildender Bakterien fehlt es zwar auch nicht ganz an Gasbildnern, sie sind aber weit weniger vorherrschend. Beachtenswert ist, daß auch Mastitis-Streptokokken nicht selten Gas produzieren. Milch aus entzündeten Eutern kann also zur Blähung der Milch in der Gärprobe, bezw. zur Käse-Blähung sowohl Veranlassung geben, wenn Streptokokken-Mastitis vorliegt, wie auch dann, wenn Coli-Mastitis vorliegt. Bei Buttersäure- und Darm-Milchsäurebakterien besteht das Gas fast stets aus Kohlensäure und Wasserstoff, bei den anderen Milchsäure-Bakterien (sofern sie überhaupt Gas bilden) und bei den Hefen nur aus Kohlensäure.

Die Umwandlung der stickstoffhaltigen Bestandteile der Milch beschränkt sich in der Regel, auch bei einer längeren Dauer der Aufbewahrung, auf die Gerinnung des Käsestoffes. Ausnahmsweise kommt es aber auch zu dessen Auflösung und weitergehender Zersetzung.

Die Gerinnung findet statt entweder unter dem Einflusse der gebildeten Säure oder unter der Einwirkung labartiger Enzyme oder drittens unter dem kombinierten Einflusse beider Faktoren.

Wird die Koagulation des Käsestoffes durch kräftige, nicht gasbildende Milchsäure-Bakterien bewirkt, so entsteht ein festes, porzellanartiges Gerinnsel, aus dem entweder gar keine oder nur sehr wenig farblose Molke ausgepreßt wird (Tafel X, 1b). Schwach säuernde Stämme veranlassen im allgemeinen das Auftreten größerer Molkenmengen. Findet Gasbildung statt, so ist das Gerinnsel mit zahlreichen Spalten und Löchern durchsetzt (Tafel X, 1d und Tafel V, 1).

Treten Lab-produzierende Bakterien oder Hefen in Aktion, so entsteht (ohne daß eine Reaktions-Änderung stattfindet) ein weiches, lockeres Gerinnsel, das sich allmählich immer mehr zusammenzieht und grünliche oder gelblich-bräunliche Molken austreten läßt (Tafel X, 1c). Es handelt sich hier um die sogen. „käsige“ Gerinnung der Milch, die außer durch Mikrokokken und verschiedene sporenfreie Kurzstäbchen — z. B. durch *Bact. fluorescens* — namentlich durch sporenbildende Bazillen (Heu-, Kartoffelbazillen usw.) verursacht wird. Man bekommt sie deshalb (in reinster Form) am ehesten in unvollständig sterilisierter Milch zu Gesicht.

Häufiger als die rein lab-artige Gerinnung ist die durch das gemeinsame Wirken von Säure und Lab herbeigeführte Koagulierung der Milch. Das ist die in praxi am häufigsten vorkommende Modifikation der „käsigen“ Gerinnung. Das Aussehen der so geronnenen Milch hält naturgemäß die Mitte zwischen dem sauren und dem labartigen Typus. Teils liegt ein wirklicher Mischeffekt der Tätigkeit von Säure- und

von Lab-produzierenden Organismen vor. Teils handelt es sich aber um das Wirken von Bakterien, die zugleich Säure und Lab entstehen lassen. Die „Säure-Lab-Kokken“, die wichtigsten der hierher gehörigen Mikroben, sind uns bereits bekannt. Außer und neben ihnen können mit gleichen Eigenschaften ausgestattete Streptokokken, sporenfreie und sporenbildende Stäbchen wirksam sein. Gemeinsam kann man sie als „Säure-Lab-Bakterien“ bezeichnen.

Das vorzeitige Gerinnen der Milch, das namentlich zu Gewitterzeiten recht häufig ist, stellt sich regelmäßig als eine solche kombinierte Säure-Lab-Wirkung dar. Die Ursachen dieser Erscheinung sind noch nicht völlig klar gestellt. Teils hat man physikalisch-chemische Einflüsse (hohe Temperatur, Luft-Elektrizität, Ozon) verantwortlich gemacht, teils solche biologischer Natur (Förderung des Wachstums der Milchsäure-Bakterien durch Spuren flüchtiger Zersetzungspprodukte, die beim Rückgang des Luftdruckes aus dem Dünger usw. entweichen, vermehrte Ausscheidung von Säure-Lab-Mikrokokken aus dem Euter). Wie gesagt, ist das letzte Wort über alle diese Fragen noch nicht gesprochen. Da auch in kühl gehaltener Milch vorzeitige Gerinnung zu Gewitterzeiten eintritt, wird man aber jedenfalls die erhöhte Temperatur, bezw. deren direkten Einfluß auf die Milch nicht so allein verantwortlich machen dürfen, wie das viele Autoren tun. Mir will es scheinen, als ob folgende Punkte besonders wichtig und einer genaueren Prüfung wert wären: 1. Die an schwülen Tagen in den Ställen herrschende Atmosphäre setzt die Resistenz der Tiere, speziell des Euter-Gewebes herab, die Euter-Kokken vermehren sich deshalb vielleicht abnorm stark; die ermolkene Milch würde so von vornherein abnorm keimreich sein. 2. In den Gefäßen hat während der Aufbewahrung eine (durch die hohe Temperatur begünstigte) besonders reichliche Bakterien-Wucherung Platz gegriffen; die Kontaktinfektionen sind deshalb wesentlich verstärkt. 3. Das durch die Hitze abgespannte Personal ist weniger achtsam; die Sorgfalt bei der Euter-Reinigung und bei den anderen Manipulationen läßt zu wünschen übrig. Indessen bedürfen, wie gesagt, auch noch die übrigen, zuvor angeführten Punkte weiterer Bearbeitungen.

Auflösung und weitergehende Zersetzung des Käsestoffes bekommt man in längere Zeit aufbewahrter Milch nur dann zu sehen, wenn entweder die Vorbedingungen für eine intensive Säure-Bildung überhaupt nicht gegeben waren, oder die zuerst gebildete Säure nachträglich durch Säure verzehrende Mikroben, unter denen die Schimmelpilze den ersten Rang einnehmen, beseitigt worden ist. Speziell in unvollständig sterilisierter sowie in keimärmer, längere Zeit im Kühlraum gehaltener Milch ist eine wenigstens teilweise Auflösung des Käse-

stoffes nicht selten. Schließlich kann es zu ausgesprochenen Fäulnis-Erscheinungen kommen. Übler Geruch, bitterer Geschmack, ja sogar giftige Eigenschaften können an solcher Milch wahrgenommen werden. In der erhitzten Milch sind aërobe und anaërobe Sporenbildner tätig, in der kalt aufbewahrten keimarmen Milch vornehmlich Fluoreszenten und diesen nahestehende Arten.

Die Lösung des Käsestoffes wird häufig schlechthin als „Peptonisierung“ bezeichnet. In manchen Fällen tritt in der Tat eine solche ein. Bei saurer Reaktion sind peptische Enzyme wirksam. Häufiger zeigt aber solche Milch alkalische Reaktion. In ihr besorgen tryptische Enzyme die Käsestoff-Lösung. Wohl nur bei den Säure-Lab-Bakterien handelt es sich um eine echte Peptonisierung des Käsestoffes.

Auch das Fett wird in der Milch nur relativ selten in deutlich wahrnehmbarem Grade angegriffen. Nicht immer ist die eventuell eintretende Änderung Bakterien oder Pilzen auf die Rechnung zu setzen. Das Sonnenlicht kann speziell auf das Fett der Flaschenmilch derart einwirken, daß namentlich die Rahmschicht einen deutlich speckigen Geruch und talgigen Geschmack annimmt. Flaschenmilch sollte deshalb dem direkten Sonnenlicht nach Möglichkeit entzogen werden. Namentlich ist der Transport solcher Milch auf offenen Wagen, abgesehen von anderen Gründen, auch wegen dieser Wirkung des Lichtes zu vermeiden. Von Bakterien geben ab und zu *Bact. fluorescens* und das ihm verwandte *Bact. punctatum*, zuweilen auch andere Kurzstäbchen sowie Mikrokokken die Veranlassung zu einer mehr oder weniger weitgehenden Fettzersetzung. Hält sie sich in relativ engen Grenzen, so tritt ein gewöhnlich als „seifig“ bezeichneter Geschmack hervor. Ist dagegen die spezifische Aktivität sehr groß, so wird die Milch deutlich „ranzig“. Dieser Fehler kann schon bei der Gewinnung der Milch bemerkbar sein. Der eine oder der andere der zuerst genannten Fettersetzer hat sich im Euter der betreffenden Tiere angesiedelt. In solcher Milch sehen die Fettkügelchen bei mikroskopischer Betrachtung geradezu wie ange Nagt aus.

Aber auch wenn es zu keiner erheblichen Käsestoff- oder Fettzersetzung kommt, können doch Geruch und Geschmack der Milch abnorm, unangenehm werden, wie man es leider nur allzu oft konstatieren muß.

Die Milch der „altmilchenden“ Kühe, d. h. derjenigen Tiere, deren Laktationszeit sich dem Ende nähert, zeigt fast immer einen spezifischen, bitterlich-salzigen, manchmal als „räß-salzig“ bezeichneten Geschmack. Wenn auch Bakterien nachträglich in der Milch eine analoge Änderung des Geschmackes hervorrufen können, so sind sie doch für jene, schon an der frisch ermolkenen Milch wahrnehmbare Erscheinung nicht verantwortlich zu machen.

Mit dem Futtergeschmack verhält es sich ähnlich. Gewisse schmeckende und riechende Substanzen können aus dem Futter direkt in die Milch übergehen. Bei der Gewinnung keimärmer Milch muß man hierauf sorgfältig achten. Namentlich machen sich altes Wickenfutter und starke Rübengaben oft unangenehm bemerklich. Wenn man aber — wie es ja die Regel ist — an der gewöhnlichen keimreichen Milch Rübengeschmack u. dgl. wahrnimmt, so ist das nicht auf jene Ursache, sondern fast immer auf Bakterien-Wirkung zurückzuführen. Zuweilen kann allerdings schon die Luft des Stalles und der angrenzenden Räume wegen der etwa hier lagernden Futter-Vorräte intensiv nach Rüben riechen. Die Milch, die ja sehr leicht alle flüchtigen Stoffe aufnimmt, zeigt dann ebenfalls jenen charakteristischen Geruch und Geschmack. In der Regel sind aber spezifisch wirkende Bakterien, die dem Kot entstammen, für diesen Fehler verantwortlich zu machen.

Der meist als der „eigentliche Milchgeschmack“ bezeichnete Geschmack der gewöhnlichen, wenig sorgfältig und deshalb nicht schmutzfrei gewonnenen Milch ist überhaupt zum größten Teil auf die gelösten Bestandteile des Kotes und die beigemengten Bakterien zurückzuführen. Vergleichende Kostproben aseptisch gewonnener, also vollkommen reiner Milch und ebensolcher, der man aber (ohne Kenntnis der Prüfenden) vorher ein wenig Kuhkot beigemischt hat, führen stets zu dem Resultate, daß das fast oder völlig einstimmige Urteil dahin lautet: Nur die zweite Probe zeigt den „richtigen, vollen“ Milchgeschmack, die erste schmeckt „fade“, schmeckt „nach nichts“ u. ä. Die meisten Menschen haben — wie in vielen anderen Richtungen — so auch in bezug auf die Milch einen sehr verdorbenen Geschmack. Jene Tatsache sollte übrigens von den Produzenten keimärmer Milch immer im Auge behalten werden. Die tatsächlich viel bessere Milch muß der schlechteren eventuell aus jenem Grunde in der Gunst des Publikums nachstehen.

Der Kotgeschmack ist es auch, der in der gewöhnlichen Milch den infolge direkten Übergangs von bestimmten Stoffen entstandenen Futtergeschmack überdeckt. Ist hier Rübengeschmack u. dgl. wahrzunehmen, so handelt es sich fast immer um die Wirkung der dem Darme entstammenden Coli-Bakterien und Fluoreszenten, die unter dem Einflusse der Rübenfütterung die Eigenschaft angenommen haben, das entsprechende „Aroma“ zu produzieren. Gerade diese beiden Bakterien-Gruppen umschließen fast alle die zahlreichen — oft unter besonderen Namen beschriebenen — „Aroma-Bildner“, die manchmal günstig, öfters aber nachteilig auf Geruch und Geschmack der Milch einwirken. Daß es sich hierbei fast immer nur um wenig konstante Varietäten handelt, lehrt das sehr starke Schwanken gerade dieser Eigenschaften bei der künstlichen Züchtung.

Die verschiedenen, durch Bakterien veranlaßten abnormen Verfärbungen der Milch habe ich schon in der 9. Vorlesung kurz behandelt. Auf Tafel VI waren einige besonders charakteristische Bilder reproduziert. Ist schon die frisch ermolkene Milch rötlich gefärbt, so ist wohl immer beigemengtes Blut die Ursache. Beim Stehenlassen der Milch sammelt es sich bald am Boden an. Es können zwar gerade Erreger der roten wie der blauen Milch in das Euter eindringen. Aber auch unter dieser Voraussetzung tritt die Verfärbung doch erst einige Stunden nach dem Melken hervor. Eine graublaue Färbung der längere Zeit aufbewahrten ansauren Milch kann auf beigemengtes Eisen (aus rostigen Transportgefäßen usw.) zurückzuführen sein. Solche Milch riecht und schmeckt auch gewöhnlich sehr schlecht. Außer den bereits genannten farbstoffbildenden Bakterien-Arten können dann und wann noch andere in Tätigkeit treten. Wegen ihrer sehr untergeordneten Bedeutung brauchen wir uns jedoch an dieser Stelle nicht näher mit ihnen zu beschäftigen.

Über das nicht gerade seltene Schleimig- bis Fadenziehend-Werden der Milch ist uns gleichfalls das Wesentliche schon bekannt. Fast stets treten Schleim-produzierende Varietäten der einen oder der anderen Gruppe von Milchsäure-Bakterien in Tätigkeit. Natürlich erhielten auch sie alle mehr oder minder schöne Namen. Speziell den *Karphococcus pituitoparus* erwähnte ich schon (S. 46). Gesundheitsschädlich ist die schleimige Milch nicht. Mitunter findet solche Milch sogar besondere Liebhaber; auf die hierher gehörige nordische Zähmilch komme ich noch zu sprechen. Seltener wird die Schleimbildung durch Sporenbildner (wie in den Zuckersäften und im Brote, s. S. 180) oder durch andere sporenfreie Stäbchen hervorgerufen. Auch manche Rassen des *Oidium lactis* zeigen (zeitweise) diese Eigenschaft.

Andere abnorme Änderungen der Konsistenz der Milch sind das abnorm schnell, sowie das abnorm langsame Aufrahmen, die Schwierigkeit aus dem Rahm Butter zu gewinnen, andererseits den Rahm zu Schlagsahne zu verarbeiten. Alle diese Fehler haben ihren Grund teils in einer Erhöhung, teils in einer Herabsetzung der Viskosität sowie in einer Änderung der Struktur der Fettkügelchen. Sie stellen Folge-Erscheinungen der Umwandlung der Eiweißsubstanzen, z. T. auch des Fettes dar. Neben Käsestoff-lösenden Organismen treten fast immer Fluoreszenten in Tätigkeit.

Überblicken wir noch einmal diese mancherlei normalen und abnormen Änderungen der Milch, so sehen wir deutlich, daß speziell die „Milchfehler“ nur relativ selten auf spezifische Arten zurückzuführen sind. Weit häufiger haben wir es mit Varietäten der gewöhnlichen Milch-Bakterien zu tun, die in dieser oder jener Richtung

Bartlett,

① p. 240.

Keimgehalte der
verschiedenen. —

p. 241, L. L.

② p. 261

Maßnahmen zur
Herabsetzung...

für a. p. 220.

UNIVERSITY OF MICHIGAN

GERMAN DEPARTMENT

es sich aber nun so oder so verlogische Untersuchung einer hende Aufschlüsse gewähren. gungen wohl klar sein. Der mehrs tut sehr wenig zur Sache. Das, und wie erfolgt die Infektion? bei den nachträglich auftretenden Wie kann der Fehler beseitigt ersten Frage folgt die der zweiten nötigen Kenntnisse auf dem Geierens usw. vorhanden sind. Die immer nur im Betriebe selbst Stellen, an denen eine Infektion lisierten oder wenigstens in ausen. Diese sind unter denselben der Fehler auftrat. In der Regel durchaus eindeutig. Für besonders wohl auch ein in dergleichen An überall zu finden sein.

des Keimgehaltes der Milch. Ich gezeigt, aus welchen Quellen der doch herühren kann. Die bei Maßnahmen zur Herabsetzung nicht mehr im einzelnen durchs wichtige Punkte sei noch kurz rier-Einrichtungen (Wattefilter) an Arbeitsweise durchaus entbehrlich,

empfehlenswert dagegen im entgegengesetzten Falle. Der Schmutz hat so nicht Gelegenheit, sich in der warmen Milch aufzulösen. Voraussetzung ist hierbei, daß das Filter nicht zu scharf von den Melkstrahlen getroffen wird, der Schmutz würde sonst doch zu einem großen Teile abgespült und aufgelöst werden. Die Anbringung von Eisbehältern in den Melkeimern ist durchaus entbehrlich. Die Geräte werden dadurch nur kompliziert und unhandlich.

Sind keine Einrichtungen zur Sterilisation der Gefäße und Gerätschaften vorhanden, so muß das Auskochen in bzw. das Behandeln mit (heißer) Soda-Lösung nach Möglichkeit zu Hilfe genommen werden. Auf einige andere, ebenfalls für Molkerei-Zwecke unter Umständen in Betracht kommende Desinfektions-Flüssigkeiten habe ich in der 8. Vorlesung aufmerksam gemacht. Nachspülen mit abgekochtem Wasser ist auch dann besser, wenn das Wasser an sich tadellos ist, notwendig aber, wenn seine Beschaffenheit nicht einwandfrei ist. Indessen ist trotz aller

Sorgfalt mit Sicherheit eine dauernde Verminderung des Keimgehalts doch nur dann zu erzielen, wenn alle Gefäße, Geräte usw. der Sterilisation im Heißluft-Schranke ausgesetzt wurden. Z. B. führten ziemlich ausgedehnte eigene Versuche zu dem Ergebnis, daß die Milch, die stets unter Beachtung aller derjenigen Sauberkeits-Regeln gewonnen wurde, wie sie überhaupt im praktischen Betriebe anwendbar sind, im mehrjährigen Durchschnitte pro ccm an Keimen enthielt bei der Verwendung:

nicht sterilisierter	und	sterilisierter Gefäße
ca. 5000—50000		ca. 500

Daß diese besonderen Maßnahmen den Preis der Milch wesentlich (etwa um das 2—3 fache) erhöhen müssen, ist selbstverständlich. Ich betonte aber auch schon, daß dieses höchste Maß an Sorgfalt nur dann am Platze ist, wenn es sich um die Gewinnung besonders guter Trinkmilch handelt, die auch im rohen Zustande dem Säugling ohne Bedenken gegeben werden kann. Bei der zu Koch- und Backzwecken verwendeten Haushaltsmilch würde die Anwendung der gleichen, weitgehenden Maßnahmen mit einer durchaus überflüssigen Verteuerung der Milch gleichbedeutend sein.

Daß eine nachträgliche Herabsetzung des Keimgehaltes durch Filtrieren und Zentrifugieren nur in beschränktem Umfange möglich ist, habe ich ebenfalls schon in anderem Zusammenhange erwähnt. Die Bakterien sind zu klein bzw. zu leicht, als daß sie auf diesem Wege aus der Milch entfernt werden könnten. Soweit sie in Schmutzteilchen u. dgl. eingeschlossen oder in größeren Konglomeraten zugegen sind, können sie allerdings durch genügend dichte Filter zurückgehalten werden. Ebenso geht zwar ein ansehnlicher Teil in den Zentrifugen-Schlamm über. Aber nicht wenig Keime werden durch die relativ großen Fettkügelchen mit in den Rahm übertragen. Da außerdem die Konglomerate beim Zentrifugieren meist auseinander geschleudert werden, kann hierdurch eventuell sogar eine Keimvermehrung vorgetäuscht werden. Ja eine solche ist in der Tat gerade beim Zentrifugieren der Milch dann möglich, wenn diese längere Zeit vorgewärmt und nach dem Passieren der Zentrifuge nicht sogleich abgekühlt wird. — Zum Filtrieren schmutzhaltiger Milch sind die Wattefilter den Tuchfiltern entschieden überlegen. Diese können, wenn sie nach dem Gebrauch nicht gründlich ausgekocht (oder noch besser sterilisiert) werden, sehr gefährliche Infektionsherde darstellen. Z. B. wurden in derselben Probe keimarm gewonnener Milch, vor bzw. nach dem Passieren eines gewöhnlichen Filtertuches an Keimen pro ccm gezählt¹⁾:

vorher: 20—420

nachher: 140 000

¹⁾ G. SALUS, Archiv f. Hygiene, Bd. 75, 1912, S. 353.

Damit der auf dem Filter sich ansammelnde Schmutz nicht durch die nachströmende Milch aufgelöst und abgespült wird, sollte die filtrierende Fläche stets schräg oder vertikal angeordnet sein, nicht, wie es bei vielen Filter-Konstruktionen der Fall ist, horizontal. Nur dann ist auch diese Lage einwandfrei, wenn (wie zuweilen bei großen Bassin-Filtern) die Milch von unten nach oben das Filter passiert.

Die physikalischen und chemischen Methoden zu der — allerdings meist nur teilweisen — Abtötung der Mikroorganismen in der Milch habe ich gleichfalls in der 8. Vorlesung besprochen. Am besten ist es, die zu Trinkzwecken bestimmte Milch kurz vor der Verwendung im Haushalt aufzukochen. Dem Vertrieb pasteurisierter Milch stehen gewisse Bedenken entgegen. Von der an sich richtigen Voraussetzung ausgehend, beim Pasteurisieren seien fast alle Keime in der Milch abgetötet, sind Produzenten, Händler und Konsumenten nur allzu oft geneigt, sich in trügerischer Sicherheit zu wiegen. Der unbedingt notwendigen, raschen Abkühlung bis auf möglichst niedrige Temperaturen und der dauernden Kühl-Erhaltung der pasteurisierten Milch wird bei weitem nicht die Aufmerksamkeit geschenkt, die notwendig ist. In einigen nordamerikanischen Städten wird ganz richtig vorgeschrieben, daß die Temperatur stets unterhalb 10°C sein soll. Die recht hohen, oft in die Millionen gehenden Keim-Zahlen, die in pasteurisierter Milch regelmäßig nachgewiesen werden können, beweisen aber leider, daß auch diese Vorschrift meist nicht die entsprechende Beachtung findet. Nicht erhitze Milch mit einem hohen Bestand an Milchsäure-Bakterien ist zweifellos einer lange bei ungeeigneter Temperatur aufbewahrten pasteurisierten Milch, in der sich zahlreiche Fäulnis-, Buttersäure-Bakterien usw. finden, vorzuziehen. Daß aber in der pasteurisierten Handelsmilch, die etwa in der rohen Milch vorhanden gewesenen pathogenen Keime sicher abgetötet sind, ist eine weitere, an sich ja sehr tröstliche, aber leider nicht immer zutreffende Annahme. Nur dann würde man hier auf sicherem Grunde stehen, wenn durch dauernde, sachverständige Überwachung der betreffenden Betriebe dafür Sorge getragen wäre, daß die Pasteurisierung stets in ausreichendem Umfange erfolgt.

Ich sagte früher (S. 108), daß Geschmack und Geruch der zum direkten Verzehr bestimmten Milch besser bleiben, wenn diese einer Dauer-Pasteurisation bei relativ niedriger Temperatur unterworfen wird. Eine Erhitzung auf 80° und darüber bedingt, namentlich wenn danach nicht sehr rasch auf tiefe Temperaturen abgekühlt wird, sehr starken „Kochgeschmack“. Die bei Temperaturen unter $75-78^{\circ}\text{C}$ pasteurisierte Milch kann aber mit Hilfe der verschiedenen Reaktionen (Guajakprobe, STORCHSche Paraphenylendiamin-Probe, ROTENFUSSERSche Probe u. a.), die zum Nachweis der stattgehabten Erhitzung der Milch in dem Laboratorium der Nahrungsmittel-Untersuchungsämter usw. Verwendung finden, nicht als solche erkannt werden. Infolgedessen neigt die behördliche Kontrolle dazu, nur diejenige Milch als ausreichend pasteurisiert

anzusehen, die sich jenen Reaktionen gegenüber als solche erweist. Das führt aber dahin, daß dann stets eine recht hohe Erhitzung der Milch gefordert wird und an sich einwandfrei arbeitende Verfahren, die unter geringerer Änderung der chemischen Beschaffenheit der Milch doch einen ausreichenden Effekt in bakteriologischer Hinsicht erzielen, von vornherein ausgeschlossen werden müssen.

Mit Rücksicht auf alle diese Bedenken scheint es mir wenigstens besser und einfacher zu sein, bei dem altüblichen Verfahren des Aufkochens der Milch im Haushalte zu bleiben. Andere Autoren sind anderer Ansicht. Doch das sei jedenfalls noch hervorgehoben, daß die allgemeine Zeitströmung etwas sehr dazu neigt, den etwa in der Milch vorhandenen pathogenen Bakterien eine ungemein hohe Bedeutung beizumessen. Die Übertragung der Tuberkulose von Mensch zu Mensch ist aber sicher viel wichtiger als diejenige durch die Milch. Über die Streptokokken-Frage sprach ich schon. Selbstverständlich liegt es mir durchaus fern, die wirklichen Gefahren in Abrede stellen zu wollen. Aber ich möchte hier wieder einmal den „goldenene Mittelweg“ empfehlen, der uns von Über- wie von Unterschätzung auch dieser Fragen gleich fernhalten wird.

Kefir, Kumiß, Jaourt usw. Daß saure Milch ein sehr gutes und zuträgliches Nahrungsmittel ist, war den Landbewohnern seit jeher bekannt. Desgleichen hat man es in vielen ländlichen Haushaltungen von alters her verstanden, durch besondere Zubereitung und Aufbewahrung der sauren Milch die Eigenschaft einer mehr oder weniger lange haltbaren Dauerware zu verleihen. Dagegen erregt der natürliche Säuerungsvorgang in der Milch meist das größte Mißfallen der großstädtischen Hausfrau. Es entbehrt nicht einer gewissen Komik, wenn man sieht, daß dieselbe Dame, der die (infolge unachtsamer Behandlung und Aufbewahrung) normal sauer gewordene Milch großen Verdruß bereitet, für saure Milch, wenn sie als Kefir, Jaourt oder unter irgend einem anderen Namen in besonderer Aufmachung, mit viel Reklame usw. angepriesen wird, gern den vier- oder fünffachen Preis bewilligt. Allerdings hat fast jede dieser verschiedenen Sauermilch-Sorten ihre Besonderheiten und ihre Vorzüge. Aber diese reichen in keiner Weise aus, um die übertriebenen Anpreisungen, die bald für die eine, bald für die andere Art geltend gemacht werden, als angemessen erscheinen zu lassen.

Der Kumiß, seit Jahrhunderten bei den in den Steppen Sibiriens wandernden Nomaden bekannt und beliebt, war das erste dieser heilkraftigen Milch-Getränke, das eine Zeitlang in Europa und Amerika „in der Mode“ war. Nur aus Stuten-, Eselin- und Kamel-Milch kann „richtiger“ Kumiß bereitet werden. „Kuhmilch-Kumiß“, der in Westeuropa und in Amerika vielfach als Surrogat diente, führte seinen Namen ganz zu Unrecht. Denn man kann „gegorene Pferdemilch“ — das und

nichts anderes verstehen die Baschkiren unter „Kumiß“ — doch unmöglich aus Kuhmilch bereiten! Als wirksame Organismen kommen in echtem Kumiß nur in Betracht: Laktobazillen, Hefen und eventuell noch Milchsäure-Streptokokken. Die Laktobazillen stammen hier, wie bei allen oder fast allen der noch anzuführenden Milchsorten meist aus dem Magen junger Tiere, deren Inhalt man zur ersten Einleitung der Säuerung benutzt. Weiterhin dient gut geratener Kumiß selbst zur Fortführung des Prozesses. Durch die bestimmte Art der Behandlung werden Hefen- und Laktobazillen-Rassen heran- und weitergezüchtet, die dem Kumiß seine spezifischen Eigenschaften verleihen. Als geeignetste Temperatur gilt 28—30° C.

Der stets aus Kuhmilch hergestellte Kefir löste den Kumiß als Mode-Getränk ab. Er ist etwas weniger reich an Alkohol und lässt



Abb. 41. Kefir-Körner (1/2, nat. Gr.).

a und c in trockenem, b und d in aufgequollenem Zustande, je 1 g (trocken).

sich im Haushalt leichter herstellen, weil er schon bei ca. 20° C am besten gerät. Zur Impfung dienen hier die „Kefirkörner“ oder „Kefir-Pilze“, das sind kleinere oder größere, blumenkohl-artige Gebilde, die aus einem dichten Gewirr von verschiedenen Stäbchen-Bakterien bestehen, besonders an der Außenseite reich vermischt mit Hefen. Die in getrocknetem Zustande im Handel befindlichen Körner sind gelblich bis braun gefärbt und zeigen einen käsigen Geruch. Oft lässt ihre Qualität zu wünschen übrig. In der Milch quellen sie zu etwa doppelt so großen weißen, weichen Gebilden auf. Abb. 41 zeigt zwei verschiedene Proben von Kefir-Körnern, auf die Hälfte verkleinert, vergleichsweise in trockenem sowie in aufgequollenem Zustande. Die bisweilen angepriesenen Kefir-Impfstoffe in Pulver- oder Tablettenform sind lediglich aus Kefirkörnern hergestellte (entsprechend teurere) Präparate. Sowohl die Hefen wie die Bakterien sind im Kefir meist nicht einheitlicher Natur. Neben

Laktobazillen scheinen auch sporenbildende Bakterien eine wichtige Rolle zu spielen.

Die dritte, augenblicklich „moderne“ Sauermilch ist der Jaourt. Die oft gebrauchte Schreibweise Jogurt, Yoghurt usw. entspricht weniger dem Wortklang der in Bulgarien, Rumänien, in der Türkei usw. üblichen Bezeichnung, die übrigens nichts anderes bedeutet als „saure Milch“. Die Herstellung erfolgt in der Weise, daß man die abgekochte und dabei teilweise eingedickte Milch bis auf ca. 45° abkühlen läßt, mit etwas älterem Jaourt (den man im Orient „Podkwassa“ oder „Maja“ nennt) impft und dann in dem durch Einhüllen in Tücher oder Ein-



Abb. 42. Jaourt-Handels-Kulturen in flüssiger und in fester Form (1/6 nat. Gr.).

stellen in die Asche der Feuerstätte vor weiterer Abkühlung geschützten Topfe stehen läßt bis zu der nach 4—6 Stunden eintretenden Gerinnung. Soll die Sauermilch noch aufbewahrt werden, so muß dies bei niedriger Temperatur (im Keller) geschehen; andernfalls wird der Jaourt übermäßig sauer. Wirksam sind wieder Laktobazillen (aus Kälber-, Lamm- oder Ziegen-Magen), Milchsäure-Streptokokken und fast immer Hefen. Die von diesen produzierten (geringen) Alkohol-Mengen sind wesentlich an dem Aroma des Jaourt mit beteiligt. Nach der Ansicht einiger westeuropäischer Forscher „soll“ Jaourt keine Hefen enthalten. Diese hefenfreie Sauermilch ist dann allerdings von dem Original meist ziemlich weit entfernt. Wir wissen, daß gerade auch für die Entwicklung

der als erwünscht angesehenen Laktobazillen die Gegenwart der Hefen nur von Vorteil ist. Viele Laboratorien, Apotheken usw. treiben gegenwärtig einen schwunghaften Handel mit allerhand Jaourt-Impfstoffen (Abb. 42). In der Regel sind die flüssigen Kulturen reicher an wirksamen Organismen als die Trocken-Präparate. Seltener trifft das Gegenteil zu. Nicht wenige der im Handel vorkommenden Präparate sind, weil zu alt, minderwertig. Auf allen Packungen müßte das Datum der Herstellung angegeben sein. Im übrigen wird man für einen etwaigen Versuch sich am besten eines von einem milchwirtschaftlichen Institut abgegebenen, oder doch unter der dauernden Kontrolle einer solchen Anstalt stehenden Präparates bedienen. Nicht selten werden übrigens die nun aus der Mode gekommenen Kefirpilze einfach in „Jogurt-Pilze“ umgetauft und als solche geliefert.

Die Laktobazillen, die als das wesentliche die Gesundheit fördernde und das Leben verlängernde Prinzip im Jaourt gepriesen werden, sind lediglich Rassen des uns wohlbekannten *Bact. casei*. Nimmt man statt Jaourt oder eines daraus hergestellten Impfstoffes irgend ein anderes, an Laktobazillen reiches Material, z. B. Schweizer Käse oder Kälber-Kot, auch Säuglingsfäces werden denselben Zweck erfüllen, und hält man die geimpfte Milch bei 45° C, so kommt man nach einigen Übertragungen stets zu einem normalen Jaourt. Auch die angeblich spezifisch günstige Wirkung auf den Darm (Unterdrückung der Darmfäulnis usw.) ist viel weniger das Werk der Jaourt-Bakterien als das Resultat des verstärkten Milch-Genusses. Im Säuglingsdarm ist dieselbe Mikroflora anzutreffen, desgleichen sind Fäulniserscheinungen normalerweise hier kaum wahrnehmbar. Dies alles aber ohne Jaourt.

Wird sehr reine Milch zur Jaourt-Herstellung benutzt, so ist das Resultat nicht immer befriedigend. Ich erwähnte (S. 254), daß gerade die Laktobazillen sich besonders gern in solcher Milch entwickeln, in die viele andere Keime (Eiweißzersetzer usw.) hineingelangt waren. Dem entspricht, daß im Orient, der uns mit dem Jaourt beglückt hat, die Sauberkeit bekanntermaßen nicht gerade auf sehr großer Höhe steht.

Natürlich wird die Jaourt-Mode gleichfalls früher oder später ihr Ende erreichen. Aber auch dann wird wohl kaum die ebenso gute, nur viel billigere, einheimische Sauermilch zu Ehren kommen, sondern es wird für weiter hergeholtene Ersatz gesorgt werden müssen. Für spekulative Unternehmer liegen hier noch mancherlei Möglichkeiten vor. Fast oder genau so wie Jaourt wird z. B. hergestellt: das Mazun in Armenien, der Lebben in Syrien, Egypten und Algier, Gioddu oder Mezzoradu auf Sizilien, Cieddu auf Sardinien, Huslanka in den Ostkarpathen, Grusavina in Montenegro, Dadhi in Indien. Schließlich werden noch unternehmendere Jünger Merkurs vielleicht die Taryk genannte Sauermilch

der Tibetaner oder das Kefir-ähnliche Omeire der Nama-Hottentotten in Europa und Amerika einführen. Wir können also jedenfalls der Zukunft getrost entgegen sehen.

Als nächster Konkurrent des Jaourt scheint jedoch die nordische Zähmilch, (norwegisch) Taette oder (schwedisch) Tättemjölk genannt, auf dem Plane erscheinen zu sollen. Sie wird (ähnlich dem Kefir) bei ca. 18°C bereitet. Als tätige Organismen kommen wieder Hefen, Laktobazillen und Milchsäure-Streptokokken in Betracht. Der Laktobazillus wächst — eine seltene Ausnahme in dieser sonst recht wärmebedürftigen Bakteriengruppe — auch noch bei 10°C und darunter. Die Streptokokken verleihen der Milch eine schleimige, schwach fadenziehende Konsistenz; dadurch wird verhindert, daß der Käsestoff ein festes Koagulum bildet. Nach dem Jaourt würde das also entschieden „mal etwas anderes“ sein. Die prächtig klingende Bezeichnung „Bolle-Taette“ ist einer Berliner Firma bereits gesetzlich geschützt worden.

18. Vorlesung.

Butter-Bakteriologie: Keimgehalt der Butter. Einfluß der Mikroorganismen auf die Qualität der Butter. Butterfehler.

Keimgehalt der Butter. Der Keimgehalt der Butter ist meist nicht sehr hoch. Da die Butter zu reichlich 80% aus reinem Fett besteht, dem neben Wasser nur sehr geringe Mengen von Eiweißsubstanzen und von sonstigen Nährstoffen beigemischt sind, so kann das auch nicht anders erwartet werden. Ganz reines Schweinefett u. dgl. läßt naturgemäß so gut wie gar keine Mikroben zur Entwicklung kommen. Durch das vielfach übliche Salzen der Butter wird außerdem das Bakterien-Wachstum in den Buttermilch-Tröpfchen, die zwischen dem Fett zurückgeblieben sind, nicht unwe sentlich gehemmt. Wenn auch auf das Gesamt-Gewicht der Butter nur etwa $2\frac{1}{2}$ —3% Salz entfallen, so lösen sich diese doch allein in dem ca. 16% des Gesamt-Gewichts ausmachenden Wasser. Dieses stellt somit eine ziemlich konzentrierte Salzlake dar. Wie wir aber sehen werden, ist gleichwohl der Nutzen wie der Schaden, den die Mikroorganismen auf die Beschaffenheit der Butter ausüben können, durchaus nicht gering. Aus schon früher erwähnten Gründen gewinnen die von Bakterien und Pilzen produzierten Enzyme hier eine große Bedeutung.

Die in der Butter vorkommenden Keime entstammen in der Regel größtenteils dem Butterungsmaterial, d. h. dem Rahm bezw. der Milch. In zweiter Linie stehen — der Keimzahl, aber keineswegs immer der Wichtigkeit nach — die Infektionen aus dem verwendeten Wasser, aus dem etwa zugesetzten Salz, aus den zur Butterung benutzten Gefäßen und Geräten (also die „Kontakt-Infektionen“), ferner die Bakterien- und Pilz-Invasionen aus der Luft und von dem eventuell zum Einschlagen der Butter verwendeten Papier.

Wird Süßrahm-Butter hergestellt, und zwar — wie es entschieden am besten ist — aus hoch pasteurisiertem Rahme, so sind selbstverständlich die Keime im Butterungsmaterial wenig zahlreich. Anders bei der häufiger bereiteten Sauerrahm-Butter. Saurer Rahm enthält stets Hunderte von Millionen, nicht selten ein bis mehrere tausend Millionen

Milchsäure-Bakterien pro ccm neben einer je nach den Umständen sehr schwankenden Zahl fremder Organismen.

Da ein möglichst reiner Bestand an Milchsäure-Bakterien für die Qualität der Butter nur von Vorteil ist, so sollte man den zur Verbutterung bestimmten Rahm möglichst nicht der freiwilligen Säuerung überlassen, sondern (soweit es irgend angängig ist) das zuvor hoch pasteurisierte Material durch Vermischen mit einem besonders sorgfältig hergestellten „Säurewecker“ zur Säuerung bzw. zur „Reifung“ bringen. Als „natürlichen Säurewecker“ hat man schon seit ziemlich langer Zeit einwandfreie Buttermilch oder (besser) gute Sauermilch be-



Abb. 43. Rahmreifungs-Kulturen (1/6 nat. Gr.).

nutzt. Seit etwa 20 Jahren ist es aber in allen Kulturländern in immer steigendem Umfange üblich geworden unter Verwendung der von zahlreichen milchwirtschaftlichen Instituten und anderen Laboratorien gelieferten Rahmreifungs-Kulturen „künstliche Säurewecker“ zu bereiten. Die Reifungskulturen (Abb. 43) stellen z. T. Reinkulturen nur einer Rasse von Milchsäure-Streptokokken dar, z. T. aber auch Mischkulturen verschiedener Organismen (Milchsäure-Bakterien, Hefen u. a.). Sie kommen in flüssiger und in trockener (Pulver-) Form im Handel vor. Jene sind, wenn auch weniger haltbar, so doch gewöhnlich reiner als diese und werden deshalb meist bevorzugt. Immerhin kann es angezeigt sein, eine Trockenkultur in Vorrat zu halten, um sie im Notfalle als Aushilfe zur

Hand zu haben. Allerdings müssen in der Regel erst mehrere Überimpfungen vorgenommen werden, bis die durch das Antrocknen (an Stärke, Milchzucker u. dgl.) geschwächten Keime ihre normale Wirksamkeit wieder erlangt haben. Stets sollte auf den Gefäßen angegeben sein, wann die Kulturen hergestellt sind und wie lange sie voraussichtlich brauchbar bleiben.

Für größere Betriebe ist es recht zweckmäßig, wenn die besonders sorgfältig zu behandelnde „Muttersäure“ die am besten unter Verwendung von bei 70°C pasteurisierter Magermilch bereitet wird, stets in 2 oder 3 Gefäßen fortgezüchtet wird. Man ist so gegen unerwartete und unwillkommene Zufälle ziemlich gesichert. Von einer einwandfreien Muttersäure genügt in der Regel $1/2$ — 1% , um einen guten Säurewecker zu bereiten. Auch hierzu bedient man sich am besten — soweit dem nicht etwa gesetzliche Vorschriften entgegenstehen — einer möglichst schonend (etwa $1/4$ Stunde bei 70°C) pasteurisierten Magermilch.

Neben der Geschmacks- und der Geruchsprüfung sowie der Säure-Bestimmung scheint auch die Katalaseprobe zur Kontrolle von Muttersäure und Säurewecker recht nützlich zu sein. Namentlich gilt das für diejenigen Fälle, in denen Reinkulturen von Milchsäure-Bakterien zur Verwendung gelangen. Da diese fast gar keine katalytischen Fähigkeiten zeigen, weist eine etwa eintretende kräftigere Sauerstoff-Abspaltung auf Verunreinigungen hin, und zwar eventuell schon zu einer Zeit, wo diese nur erst so gering sind, daß sie bei der Sinnenprüfung noch nicht erkannt werden können¹⁾.

Das Wasser, das zum Auswaschen der Butter sowie zum Abspülen der Butterungs-Gerätschaften dient, sollte ausnahmslos im abgekochten oder in anderer Weise sterilisierten Zustande Verwendung finden. Leitungs- und Brunnen-Wasser ist meist verhältnismäßig reich an solchen Keimen, die auf die Qualität der Butter spezifisch ungünstig einwirken. In erster Linie gilt das für die auch in reinen Wässern recht häufigen Fluoreszenten.

Daß die Luft in den der Bereitung und der Aufbewahrung der Butter dienenden Räumen stets möglichst rein sein soll, bedarf keiner besonderen Begründung. Zeitweise bemerkbare Infektionen der Luft durch Schimmelpilze sind unter Berücksichtigung der in der 8. Vorlesung gegebenen Vorschläge zu bekämpfen.

Das Salz übt zwar, wenn es der Butter zugesetzt wird, einen deutlich konservierenden Einfluß aus. Andere Antiseptica, deren Gebrauch in den meisten Ländern ohnehin gesetzlich untersagt ist, wirken kaum besser²⁾. Indessen kann auch das Salz in doppelter Beziehung für die Qualität der Butter von Nachteil werden. Ein in chemischer

¹⁾ A. HESSE, Molkerei-Zeitung, Hildesheim, Bd. 26, 1912, S. 375.

²⁾ K. FISCHER und O. GRUENERT, Zeitschrift für Untersuchung der Nahrungs- und Genußmittel, Bd. 22, 1911, S. 553.

Hinsicht unreines Buttersalz verschlechtert den Geschmack der Butter sehr; namentlich sind eisenreiche Sorten für das Salzen der Butter ungeeignet. Weiterhin läßt aber auch die bakteriologische Beschaffenheit des Salzes oft viel zu wünschen übrig. Es kommen Salzsorten im Handel vor, die in je einem Gramm Tausende von Bakterien und Hunderte von Schimmelpilzen enthalten¹⁾. Derartiges Material wirkt natürlich mehr schädlich als nützlich.

Die Mikroflora der zur Bereitung und Aufbewahrung der Butter dienenden Geräte und Gefäße fordert gleichfalls Beachtung. Die Einwirkung von Metall verschlechtert den Buttergeschmack leicht sehr. Man gibt deshalb hier mit Recht, soweit als möglich, hölzernen Gefäßen und Geräten den Vorzug. Wie wir wissen, bieten diese jedoch Bakterien wie Pilzen die Möglichkeit zu üppiger Vermehrung dar. Peinliche Sauberkeit genügt nicht, man muß auch, soweit dies angängig ist, für Sterilisierung sorgen. Da trockene Erhitzung ausgeschlossen und auch das Dämpfen für die Struktur des Holzes von Nachteil ist, so muß hier zur chemischen Desinfektion gegriffen werden. Kalkmilch hat sich für diese Zwecke als am besten geeignet erwiesen.

Schließlich übt auch das zum Einschlagen der Butter benutzte Papier teils einen günstigen, teils einen ungünstigen Einfluß auf deren Keimgehalt aus. Wird die Butter in Fässer gefüllt, so kann eine doppelte Lage guten Pergamentpapieres die sonst, auch durch eine einfache Lage Papier, leicht vom Holze aus eindringenden Schimmelpilze fernhalten. Schädlich wirkt dagegen das Papier, wenn es reich ist an löslichen organischen Stoffen, z. B. an Stärkezucker, Glyzerin und ähnlichen bei der Herstellung dem Papiere zugesetzten Substanzen. Mag solches Papier selbst keimarm oder keimreich sein, in jedem Falle begünstigt es die Entwicklung der verschiedenartigsten Mikroben, speziell das Wachstum der Schimmelpilze an der Oberfläche der Butter. Es sollte deshalb von der Molkerei-Praxis allgemein darauf gedrungen werden, daß das Butterpapier zuckerfrei oder doch jedenfalls mit einem nur geringen Gehalt an Zucker in den Handel gebracht werde. Schwedische Export-Butter darf überhaupt nur in zuckerfreies Papier eingeschlagen werden. Um sicher zu gehen, ist es stets angezeigt, das Papier vor der Verwendung in Wasser auszukochen und dann in einer ca. 25 proz. Salzlösung auskühlen zu lassen.

Je nachdem sich im einzelnen Falle die verschiedenen, soeben besprochenen Faktoren geltend machen, wird der Keimgehalt der Butter höher oder niedriger sein. Mit aller Sorgfalt aus pasteurisiertem Material bereitete Süßrahmbutter ist selbstverständlich gleich nach der Herstellung

¹⁾ RAPPIN und GROSSERON, Molkerei-Zeitung, Berlin, Bd. 20, 1910, S. 433.

verhältnismäßig arm an Keimen. Das Gegenteil wird dagegen z. B. für die aus spontan gesäuertem Rahm in primitiver, wenig rationeller Weise gewonnene, sogenannte „Bauernbutter“ zutreffen. Könnte es hiernach so scheinen, als ob die Keimzahl einen ziemlich zuverlässigen Anhalt für die Qualität der Butter darbietet, so steht dieser Annahme doch die folgende Tatsache durchaus entgegen.

Süßrahm-Butter zeigt, auch wenn sie anfangs sehr keimarm war, fast immer während der ersten Zeit der Aufbewahrung eine recht bedeutende Keim-Vermehrung. In der Sauerrahm-Butter bleibt die Anfangszahl in der Regel zunächst ziemlich konstant. Die Milchsäure-Bakterien entwickelten sich eben schon im säuernden Rahme in großer Zahl; in der Süßrahm-Butter findet der analoge Vorgang erst in der Butter selbst statt. Nach etwa 8—14 Tagen ist ein vollständiger Ausgleich oder sogar eine Umkehrung der Verhältnisse eingetreten. Weiterhin folgt aber fast ausnahmslos ein sehr deutlicher Rückgang der Keimzahl. Nur ganz vereinzelt sind lange Zeit anhaltende Keim-Vermehrungen beobachtet worden. Typisch sind etwa die nachstehenden Zahlen-Relationen.

Keime pro g in Millionen	Süßrahm-Butter		Sauerrahm-Butter		Bauern-Butter	
	außen	innen	außen	innen	außen	innen
frische Butter . . .	1	1	10	10	20	20
nach 1 Woche . . .	80	10	8	8	40	5
nach 2 Monaten . . .	2	0,6	2	0,1	2	0,4

Je älter die Butter ist, umso keimärmer ist sie also. Daß trotzdem die Fettzersetzung, d. h. das „Ranzig-Werden“ der Butter sehr lebhaft fortschreiten kann, ist aber eine allgemein bekannte Tatsache. Aus ihr können wir wieder einmal sehr deutlich ersehen, daß die einfache Zählung der Keime keinen Maßstab liefert für den durch die Mikroben ausgelösten Effekt.

Ist die Butter nicht gründlich ausgewaschen, also noch verhältnismäßig reich an Eiweiß, so kann der Keimgehalt gelegentlich auf über 100 Millionen pro Gramm ansteigen. Wurde dagegen für möglichst vollständige Entfernung der Buttermilch Sorge getragen, gelangte hoch-pasteurisierter Rahm zur Verarbeitung, wird weiter durch angemessenen Salzzusatz das Bakterien-Wachstum in Schranken gehalten, und ist außerdem für vollständigen Luftabschluß gesorgt, so können die Keimzahlen dauernd sehr niedrig gehalten werden. Z. B. fand ROGERS in Büchsen-Exportbutter pro g:

nach 1 Woche	nach 2	3	18 Wochen
362000	125000	23600	200

Daß Luftabschluß auf den Keimgehalt der Butter deprimierend einwirkt, lehren auch die zuvor mitgeteilten Zahlen für die inneren

Partien im Vergleich zu denen der außen befindlichen Butterschichten. Alle kräftigen Fettzersetzer sind aërob. Zudem wirkt aber an der Außenseite die Symbiose mit allerhand ebenfalls aëroben Alkali-Produzenten fördernd auf die Zahl der Säure-Bakterien ein, die im Innern eher durch die gebildete Säure geschädigt werden.

Fast immer stellen die Milchsäure-Bakterien das Hauptkontingent der Butter-Flora dar. Unter ihnen überwiegen in der Regel die Milchsäure-Streptokokken; denn die für diese besonders geeignete Temperatur von ca. 20° C wird ja meist bei der Rahmreifung inne gehalten. Neben ihnen und verhältnismäßig zahlreicher als in saurer Milch sind die Milchsäure-Mikrokokken anzutreffen. Namentlich soweit der Rahm der neuerdings verschiedentlich empfohlenen Kühlreifung überlassen war oder Süßrahm-Butter bei niederen Temperaturen aufbewahrt wurde, darf man auf ein häufiges Vorkommen dieser Gruppe von Milchsäure-Bakterien rechnen. Auch an Laktobazillen fehlt es nicht ganz. Und daß die Coli-Aërogenes-Formen, namentlich bei minder sorgsamer Arbeitsweise, ebenfalls reichlich vertreten sein können, brauche ich nicht mehr besonders zu begründen.

Recht zahlreich sind in der Butter oft auch Sproßpilze anzutreffen. Namentlich in lange aufbewahrtem Material können sie geradezu dominieren.

Schimmelpilze, Actinomyzeten, mancherlei sporenlöse Kurzstäbchen, in erster Linie Fluoreszenten, ferner Buttersäure-Bakterien und andere sporenbildende Bazillen pflegen zwar der Zahl nach gegenüber den Milchsäure-Bakterien und Hefen sehr in den Hintergrund zu treten; qualitativ können sie aber von nicht geringer Wichtigkeit sein.

Wie durch die Milch können auch durch die Butter Krankheitserreger übertragen werden. Pasteurisieren des Rahmes und Verhütung einer nachträglichen Infektion der Butter mit pathogenen Keimen sind die gegebenen und ohne erhebliche Schwierigkeiten stets anwendbaren Gegenmaßregeln.

Margarine weist in der Regel niedrigere Keimzahlen, aber einen relativ höheren Bestand an Schimmelpilzen auf als die Butter.

Einfluß der Mikroorganismen auf die Qualität der Butter.

Wenn wir uns ein Bild davon verschaffen wollen, inwiefern die Mikroben normalerweise auf die Qualität der Butter einwirken, müssen wir uns von vornherein darüber klar sein, daß sowohl der Geschmack wie das Aroma der Butter sehr wesentlich von der Beschaffenheit der verarbeiteten Milch abhängen kann. In weit höherem Grade als dies an der Milch selbst wahrzunehmen ist, wird das Milch- bzw. das Butter-Fett bekanntermaßen durch die Art der Ernährung der Tiere beeinflußt. Die beim Weidegang der Rinder gewonnene „Grasbutter“

unterscheidet sich in Geschmack, Aroma und Aussehen meist sehr von der bei Trockenfütterung erzielten „Winterbutter“. Aber auch die verschiedenen Arten von Kraftfuttermitteln wirken in dieser Richtung z. T. recht ungleich. Mit Rübenblättern und anderem Grünfutter verhält es sich ähnlich.

Diese Einflüsse dürfen also durchaus nicht übersehen oder unterschätzt werden. Indessen können wir andererseits konstatieren, daß es bei einwandfreier Arbeitsweise unter Verwendung pasteurisierten Rahmes und geeigneter Rahmreifungs-Kulturen fast ausnahmslos gelingt, eine Butter von vorzüglicher Beschaffenheit herzustellen. Daraus dürfen wir schließen, daß doch auch hier die Mikroorganismen von recht hoher Bedeutung sind. Speziell zu diesem Zwecke angestellte, vergleichende Versuche haben dies bestätigt.

Tadellos reiner Geschmack und große Haltbarkeit sind es vor allem, die solche Butter auszeichnen. Das ist ohne weiteres verständlich. Fast alle etwa zu schädlicher Wirkung disponierten Milch-Bakterien sind bei der Pasteurisierung des Rahmes zugrunde gegangen. Und die wenigen überlebenden oder nachträglich bei der Bereitung der Butter hinzugekommenen Keime werden durch die gebildete Milchsäure im Schach gehalten. Soweit liegen also die Dinge völlig klar. Etwas anders verhält es sich in bezug auf das Aroma der Butter. Daß neben der unstreitig zunächst in Frage kommenden Futter-Wirkung auch in dieser Richtung Mikroorganismen einen maßgebenden Einfluß geltend machen können, lehrt die Tatsache, daß zuweilen dieselbe Milch eine aromatischere bzw. weniger aromatische Butter liefert, je nachdem ein „natürlicher“ oder ein „künstlicher“ Säurewecker zur Ansäuerung des Rahmes benutzt wurde. Das in jenem Falle vorhandene, kompliziertere Mikroben-Gemisch begünstigt naturgemäß die Entstehung von allerhand riechenden und schmeckenden Substanzen. Das „richtige, volle“ Butter-Aroma, das oft als erwünscht erscheint, ist also das Ergebnis einer großen Zahl von verschiedenartigen Umsetzungen. Sowohl der Abbau des Milchzuckers, wie die Zersetzung der Eiweißstoffe wie auch eine teilweise Spaltung des Fettes wirken am Zustande-Kommen dieses Aromas mit. Und es ist nur zu verständlich, daß und weshalb eine Butter, deren kräftiges Aroma auf diese Ursachen zurückzuführen ist, an Haltbarkeit nicht selten zu wünschen übrig läßt. Mit dieser Art von „Aroma“ verhält es sich ähnlich wie mit dem „richtigen, vollen Milch-Geschmack“, dessen eigentlichen Charakter wir in der 17. Vorlesung (S. 259) kennen gelernt haben. Wir sind eben meist noch von Jugend auf an den Geschmack und an das „Aroma“ unsauberer Milch und der aus unrein gesäuertem Rahm gewonnenen Butter so sehr gewöhnt, daß wir diese Eigenschaften ungern vermissen. In beiden Richtungen ist die wünschenswerte Verfeinerung

des Geschmackes vielfach noch nicht eingetreten. Aber das wird sicher im Laufe der Zeit geschehen, je mehr man sich von Kindheit an an reine Milch und an reine Butter gewöhnt haben wird.

Damit will ich nun aber natürlich durchaus nicht gesagt haben, daß reine Butter eines guten Geschmackes und eines feinen Aromas entbehren müßte. Im Gegenteil! Es wird auch weiterhin eine sehr wichtige Aufgabe der betreffenden Laboratorien sein, solche Rahmreifungs-Kulturen auszuwählen und an die Praxis abzugeben, die das Aroma der Butter günstig beeinflussen, ohne doch deren Haltbarkeit zu beeinträchtigen. Versetzt man, wie man das gelegentlich schon versucht hat, den Rahm lediglich mit reiner Milchsäure oder einer anderen Säure, so kommt ein sehr wenig schmackhaftes Produkt zustande. Ein schwacher Säure-Zusatz kann allerdings unter Umständen als Korrigens am Platze sein. Daß aber die Mitwirkung der Milchsäure-Bakterien regelmäßig ein Produkt von besserer Beschaffenheit entstehen läßt, zeigt deutlich, daß auch sie auf Geschmack und Aroma der Butter vorteilhaft einwirken. Schon heute kommen Rahmreifungs-Kulturen im Handel vor, die trotzdem sie Reinkulturen von Milchsäure-Bakterien darstellen, doch auch in dieser Hinsicht recht befriedigen. In einer der berühmtesten Buttersorten, der Isigny-Butter, sind ebenfalls nur Milchsäure-Bakterien wirksam¹⁾. Dagegen enthalten manche Reifungs-Kulturen Hefen, Oidien oder (seltener) andere Bakterien als Aroma-Produzenten. Im ganzen kommt man aber mehr und mehr von diesen Beimischungen ab, da sie nur allzu leicht das Gegenteil von dem bewirken, was sie sollen. Wie in den Gärungsgewerben die Verwendung von Reinzuchten besonders günstig wirkender Hefen von sehr großem Vorteil für die Güte der Erzeugnisse geworden ist, so wird sich sicher auch die Auslese und die Fortpflanzung von solchen für die Butterbereitung hervorragend geeigneten Rassen von Milchsäure-Bakterien von immer größerem Nutzen erweisen.

Die Säuerung des Rahmes wird am besten durch einen relativ reichlich bemessenen Zusatz eines mild gesäuerten Säureweckers eingeleitet. In solchem Material sind die Milchsäure-Bakterien auf der Höhe der Entwicklung. Handelt es sich um die Gewinnung von Tafelbutter, bei der mehr Wert auf das Aroma als auf die Haltbarkeit gelegt wird, so ist es angezeigt, die Säuerung auch im Rahme selbst nicht so weit fortschreiten zu lassen, als dann, wenn möglichst haltbare Exportbutter hergestellt werden soll.

Im ersten Falle sind zur Titration ca. 25—27, im zweiten Falle 28—32 ccm $\frac{n}{4}$ Natronlauge pro 100 ccm Rahm erforderlich. Durch Abkühlung ist die etwa notwendige Hemmung des Säuerungsprozesses rechtzeitig herbeizuführen.

¹⁾ P. MAZÉ, Annales de l'Institut Pasteur, T. 24, 1910, p. 402.

Butterfehler. Der am häufigsten wahrnehmbare Fehler der Butter besteht darin, daß sie leicht ranzig wird. Vollkommen einwandfrei hergestellte Butter wird bei längerer Aufbewahrung nur „alt-schmeckend“, aber nicht eigentlich ranzig. Damit dieser Fehler vermieden wird, ist es erstens nötig, durch scharfes Pasteurisieren des Rahmes nicht nur sämtliche zur Fettzersetzung befähigten Keime im Butterungsmaterial abzutöten, sondern auch die von ihnen produzierten (sowie die möglicherweise von vornherein in der Milch vorhanden gewesenen) fettspaltenden Enzyme, die sogen. Lipasen, restlos zu zerstören. Zweitens muß dann aber dafür gesorgt werden, daß nicht von neuem fettzersetzende Organismen in den Rahm bezw. in die Butter gelangen. Das ist indessen leichter gesagt, als getan. Bei dem sehr häufigen Vorkommen solcher Mikroben ist es — von Versuchen kleinsten Stiles abgesehen — unmöglich, diese Forderung voll zu erfüllen. Da in erster Linie Fluoreszenten, in zweiter verschiedene Schimmelpilze (*Oidium lactis*, *Cladosporium butyri*, *Penicillium glaucum* u. a.) zersetzend auf das Butterfett einwirken, so müssen noch spezielle Vorkehrungen getroffen werden, um solche Keime, die vielleicht trotz aller Vorsicht in die Butter gelangt sind, an ihrer unerwünschten Tätigkeit zu hindern. Die Fluoreszenten sind verhältnismäßig sehr empfindlich gegen das Salz. In Butter mit $2\frac{1}{2}$ — 3% Salz können sie sich nicht mehr entwickeln. Den Schimmelpilzen vermag dagegen das Salz meist wenig anzuhaben. Dafür sind sie aber sehr luftbedürftig. Luftabschluß bewahrt also die Butter vor ihren Angriffen. Die gefährlichsten Fettzerstörer sind auf diese Weise unschädlich gemacht.

Gleichwohl kommt es in Büchsen-Dauerbutter und in den in Kühlräumen lange aufbewahrten Butter-Vorräten doch nicht allzu selten zu einer die Qualität mehr oder minder stark beeinträchtigenden Geschmacks-Verschlechterung, die allerdings nur z. T. auf einer Spaltung des Fettes beruht und bei der es meist nicht bis zum ausgesprochenen Ranzig-Werden kommt. Wurden die Lipasen, wie ich es als erstes Erfordernis hinstellte, bei der Pasteurisierung vollständig inaktiviert, so kann es sich nur noch um zwei schädigende Momente handeln. Erstens können Hefen oder (allerdings nur selten) anaerobe Bakterien eine teilweise Zerlegung des Butterfettes auch unter Luftabschluß und in Gegenwart des Kochsalzes bewirken. Gerade die Hefen werden, wie wir wissen, fast immer in Symbiose mit Milchsäure-Bakterien angetroffen. Manche Rahmreifungs-Kulturen enthalten sie in sehr ansehnlicher Menge. In alter Butter erscheinen sie zuweilen nahezu in Reinkultur. Soll überhaupt Sauerrahm zu Dauerbutter verarbeitet werden, so ist also jedenfalls auf einen reinen Bestand an Milchsäure-Bakterien und Abwesenheit von Hefen ständig zu achten. Aber auch dann sind wir noch

nicht allen Eventualitäten entronnen. Es kann jetzt nämlich der zweite schädigende Faktor seinen Einfluß geltend machen, der darin besteht, daß unter der Einwirkung der Säure kleine Mengen Metall aus den Gefäßen aufgenommen werden, die bei langer Aufbewahrungszeit den Geschmack der Butter sehr verschlechtern können¹⁾. Sorgfältig bereitete Butter aus hoch pasteurisiertem süßen Rahm pflegt sich aus diesem Grunde für die Lagerung in den Kühlräumen besser zu eignen als Sauerrahm-Butter.

Bei der Bereitung der gewöhnlichen, zum raschen Verbrauch bestimmten Butter, verzichtet man natürlich aus wirtschaftlichen Gründen gern auf die Beachtung all dieser Kautelen, die bei der Herstellung von Dauerbutter sorgfältige Beachtung erfordern. Ist dann auch noch die während der Aufbewahrung herrschende Temperatur relativ hoch, so macht sich schon nach wenigen Tagen ein deutlich ranziger Geruch und Geschmack der Butter unangenehm bemerklich.

Die wichtigsten Fettzersetzer nannte ich bereits. Neben ihnen können aber noch zahlreiche andere Arten wirksam sein. Speziell in der oft recht mangelhaften „Bauernbutter“ kann man ganze Sammlungen solcher Organismen antreffen. Namentlich sind fettspaltende Mikrokokken sowie das in gleicher Richtung tätige *Bact. prodigiosum* in derartiger Butter durchaus keine Seltenheit. Die verschiedensten Schimmelpilze, *Mucor*-, *Aspergillus*-, *Penicillium*-Arten u. a. m., sind fast regelmäßig anzutreffen.

Wie immer bei solchen Erscheinungen, die speziell auf unseren Geruchs- und Geschmacks-Sinn einwirken, ist es auch bei der „ranzigen“ Beschaffenheit der Butter schwer, das Resultat der Sinnenprüfung mit den Ergebnissen der chemischen Analyse in befriedigende Übereinstimmung zu bringen. Eine Zeit lang begnügte man sich damit, den Säure-Gehalt der Butter einfach durch Titration zu ermitteln, und nahm diese „Azidität“ als gleichbedeutend mit „Ranzidität“. Ich brauche wohl nicht näher auseinander zu setzen, daß und weshalb man hierbei namentlich bei der Beurteilung von Butter-Proben zu sehr wenig zutreffenden Resultaten kommen mußte. Handelt es sich lediglich um eine vergleichende Prüfung der Wirksamkeit verschiedener Fettzersetzer, dann kann die Bestimmung der Säurezahl allerdings recht interessante Einblicke eröffnen. Das lehren z. B. die nachstehenden Befunde, die von ORLA JENSEN an zwei Monate alten, mit verschiedenen Rein- und Mischkulturen geimpften Butterproben erhoben worden sind.

Butter geimpft mit	Gesamt-Säure	Flüchtige Säuren
<i>Bacterium fluorescens</i> . . .	38	5,5
<i>Oidium lactis</i>	67	1,5
<i>Cladosporium butyri</i> . . .	12	0,5

¹⁾ ROGERS, BERG, POTTEIGER and DAVIS, U. S. Department of Agriculture, Bureau of Animal Industry, Bulletin 162, 1913.

Butter geimpft mit	Gesamt-Säure	Flüchtige Säuren
<i>Oid. lactis</i> + <i>B. fluorescens</i> .	89	2,0
" " + <i>Cladosp. butyri</i>	113	5,9

Die symbiotische Förderung tritt z. T. sehr deutlich hervor.

Neben der Abspaltung von flüchtigen und nicht flüchtigen Fett-säuren kommt es aber in ranziger Butter auch zur Bildung von allerhand sekundären Produkten. Das bei der Fettzerlegung frei werdende Glyzerin wird rasch weiter umgesetzt. Es entstehen verschiedene Alkohole, die z. T. mit den Säuren zu Estern zusammen treten. Z. B. sind Butter-säure-Ester in ranziger Butter eine ziemlich häufige Erscheinung.

Die Vorgänge werden sehr oft noch dadurch weiter kompliziert, daß der durch Mikroben bewirkten Fettzersetzung sich gewisse rein chemische Änderungen des Fettes, nämlich spontane Oxydationen desselben, hinzugesellen. Ganz reines Fett, Butterschmalz usw., ist den Angriffen aller Organismen vollkommen entrückt, denn es enthält fast gar kein Wasser, keine Eiweißstoffe und keine Salze. Gleichwohl kann es ebenfalls Änderungen erleiden, die man oft auch als „Ranzig-“, besser aber als „Talgig-“-Werden bezeichnet. Bei höherer Temperatur, eventuell infolge Erwärmung durch das direkte Sonnenlicht tritt (falls nicht für Luft-Abschluß gesorgt war) eine Oxydation des Fettes ein. Es ist klar, daß sich in der bei sommerlicher Temperatur aufbewahrten Butter gleiche Vorgänge abspielen können. Und so ist denn in der Tat das Ranzig-Werden der Butter gewöhnlich ein teils auf mikrobiologische, teils auf physikalisch-chemische Ursachen zurückzuführender Mischprozeß. Verlaufen die beiden Prozesse getrennt, so zeigen sie folgende Verschiedenheiten:

	Beim Ranzig-Werden	beim Talgig-Werden
wird das Fett	gespalten und zersetzt	oxydiert
infolge Einwirkung von	Mikroben	Sauerstoff und Wärme.
Die Farbe des Fettes wird	dunkler, durchscheinend	weiß, talgig.
Die Jodzahl	ist unverändert	nimmt ab.
Die Fett-Spaltung	ist kräftig	ist sehr schwach.
An Fett-Säuren	überwiegen die nicht-flüchtigen	die flüchtigen Säuren.
Das Glyzerin	wird fast vollständig zersetzt	bleibt erhalten.
Buttersäure-Ester	sind häufig	fehlen stets.
Die Aldehyd-Reaktion	ist schwach	ist stark.

Da es sich beim Ranzig-Werden meist um die Tätigkeit aerober Organismen und beim Talgig-Werden um die direkte Einwirkung des Luft-Sauerstoffs handelt, so ist möglichst vollständiger Luftabschluß das einfachste und wirksamste Vorbeugungsmittel gegen beide Erscheinungen. Tiefe Temperatur bringt die Oxydation gleichfalls so gut wie vollständig zum Stillstand. Dagegen sind die Fettzersetzer — in erster Linie *Bact. fluorescens* — wie wir wissen, psychrophil.

Das, was man als „fischige, ölige, tranige“ Butter bezeichnet, ist in der Regel gleichfalls von Fettzersetzern angegriffenes Material. Allerdings gibt es auch Milchsäure-Bakterien, die der Butter einen talgigen oder einen an Maschinenöl erinnernden Geschmack verleihen können. Bei Verwendung ausreichend pasteurisierten Rahmes und guter Rahmreifungs-Kulturen können sie jedoch keinen Schaden stifteten.

Andere Geschmacksfehler sind der Rübengeschmack, der bittere, der käsesaure und der hefige Geschmack der Butter. Die Erreger des Rübengeschmackes kommen bekanntlich mit dem Kot in die Milch. Sie sind durch Pasteurisieren (bei 85—90°) auszuschalten. Bitter wird die Butter infolge reichlicher Entwicklung käsestoff-lösender Mikroben. Pasteurisieren des Rahmes und gründliches Waschen der Butter wirken dem entgegen. Der käsesaure und der hefige Geschmack treten als Folge des Zusammenwirkens von Laktobazillen und Hefen hervor. Die direkte Veranlassung zu der abnorm starken Vermehrung der Laktobazillen sind hohe Temperatur und Übersäuerung des Rahmes¹⁾. Auch hier muß durch gründliches Waschen der Butter dem Fehler vorgebeugt werden.

Sehr schädlich erweisen sich mitunter für die Haltbarkeit der Butter die anaeroben Buttersäure-Bakterien. In Sporenform können sie sowohl das Pasteurisieren des Rahmes wie das Abkochen des Wassers überstehen. Werden sie nicht durch kräftige Säuerung des Rahmes unterdrückt, so beginnen sie, wenn die Aufbewahrungs-Temperatur genügend hoch ist, nach wenigen Tagen mit ihrer Tätigkeit. Solche Butter ist infolge der Gas-Entwicklung wie von feinen Nadelstichen durchbohrt und zeigt sehr bald eine erhebliche Verschlechterung der Qualität.

Dem Verschimmeln der Faßbutter wird durch Luftabschluß (festes, lückenloses Einpacken und dichten Abschluß nach außen hin) vorgebeugt. Gegen Salz sind die Schimmelpilze meist wenig empfindlich.

Wie ich schon in der voraufgegangenen Vorlesung kurz andeutete, wird der Rahm mitunter durch Bakterien derart verändert, daß er sich nur sehr schwer verbuttern läßt. In der Regel ist allerdings die nicht passend gewählte Temperatur die Ursache dieser Erscheinung. Zuweilen kann jedoch sowohl dieser Fehler wie auch eine abnorm weiche Beschaffenheit der Butter durch schleimbildende sowie durch käsestoff-lösende Organismen bedingt sein. Ebenso können nachträgliche Farben-Änderungen — gelbe, rote, grüne, braune und blau-schwarze Verfärbungen — durch allerhand Mikroben (vorwiegend Sproß-

¹⁾ O. JENSEN, *Revue générale du lait*, T. 8, 1910, p. 409; C. F. ROSENGREN, *Milchwirtschaftliches Zentralblatt*, Bd. 41, 1912, S. 321.

und Schimmelpilze) hervorgerufen werden. Meist ist aber sowohl die Konsistenz wie die Farbe des Fettes bedingt durch die Beschaffenheit des den Tieren gereichten Futters, wie ich dies bereits erwähnt habe. Ein nicht selten vorkommender Fehler ist der, daß die Butter auf der Schnittfläche unregelmäßig umgrenzte, hellere und dunklere Stellen zeigt. Diese Marmorierung kommt gewöhnlich dadurch zustande, daß der fein verteilte geronnene Käsestoff in den salzärmeren Partieen weniger stark gelöst wird als an den salzreicherem Stellen. Jene bleiben deshalb weißer als diese. Wie es sich hier also lediglich um einen Fehler bei der Bearbeitung handelt, so kann aus gleicher Ursache ein etwa der Butter zugesetzter Farbstoff zu ähnlichen fehlerhaften Erscheinungen Veranlassung geben. Die zu ergreifenden Gegenmaßregeln ergeben sich von selbst.

19. Vorlesung.

Käse-Bakteriologie: Keimgehalt der Käse. Käsereifung.

Keimgehalt der Käse. Die Milch soll im allgemeinen eine möglichst niedrige Keimzahl aufweisen. Als Ausnahmen figurieren nur die verschiedenen Sauermilch-Sorten. Milchsäure-Bakterien sowie eventuell gewisse Hefen sind hier von Nutzen. Ganz ähnlich verhält es sich in bezug auf die Butter. Im Käse liegt dagegen die Sache etwas anders.

Die Reifung der Käse besteht — wie wir sogleich näher sehen werden — darin, daß sämtliche Bestandteile, also nicht nur der Käsestoff, sondern auch das Fett und der Milchzucker, mehr oder weniger tiefgreifende Änderungen erfahren, und zwar infolge der Tätigkeit von Bakterien und von Pilzen. Dürfen wir schon hiernach eine zahlf- und artenreichere Mikroflora im Käse erwarten, so kommt noch hinzu, daß die abweichenden Eigenschaften der verschiedenen Käse-Sorten ursächlich verknüpft sind mit z. T. recht erheblichen Differenzen im Mikroben-Bestande. Schon das bloße Auge gestattet uns ja z. B. zu erkennen, wie manche Weichkäse durch einen dichten Schimmelbelag an der Außenseite charakterisiert sind. In anderen sehen wir ein die ganze Käsemasse durchsetzendes Netzwerk graugrüner Pilzmassen. Bei wieder anderen Käsesorten fehlt jede sichtbare Pilz-Entwicklung.

Bekanntlich kann bei der Herstellung der Käse in zweierlei Weise verfahren werden. Man kann Lab-Käse bereiten oder Sauermilch-Käse. Während diese fast ausnahmslos die Eigenschaften der Weich-Käse zeigen, sind jene teils weiche, teils harte Käse. Bei der Hartkäseherstellung wird das infolge des Labzusatzes im Käsekessel entstandene Koagulum nach erfolgter Zerkleinerung und Bearbeitung, d. h. als „Bruch“, zusammen mit den noch darüber stehenden Molken meist mehr oder minder stark erhitzt oder, wie man in der Regel sagt, nachgewärmt. Nachher kommt der in die Formen gefüllte Bruch gewöhnlich unter die Presse. Beide Maßnahmen (Nachwärmung und Pressen) setzen den Wassergehalt des Käse-Teiges herab, veranlassen also eben das Hart-Werden der betreffenden Sorten.

Wie schon diese Maßnahmen den Keimgehalt sehr weitgehend modifizieren, so kommen noch eine ganze Reihe anderer Momente hinzu, die während der Lagerung ihren Einfluß geltend machen. Die gesamte Käserei-Technik lehrt uns in überaus anschaulicher Weise, wie man durch zweckmäßige Wahl und Anwendung der praktischen Maßnahmen, wenn auch zunächst dessen ganz unbewußt, direkt und indirekt auf die Mikroorganismen einwirken, die nützlichen fördern und die schädlichen unterdrücken kann. Die Herstellung des Labaufgusses, die Art, wie die Milch vorbereitet und dickgelegt wird, der Grad der Bearbeitung und des Nachwärmens des Bruches, das Formen, Pressen, Salzen und die weitere Pflege der Käse, die Regulierung von Temperatur und Feuchtigkeit in den Aufbewahrungs-Räumen, alles das sind bakteriologisch höchst interessante Hilfsmittel zur Regelung der Mikroben-Tätigkeit in und auf dem Käse.

Zunächst wollen wir uns etwas näher mit der Zahl und der Art der in den verschiedenen Käsen vorkommenden Organismen bekannt machen. Sie entstammen entweder der Milch, oder dem eventuell verwendeten Lab, dem Wasser oder der Luft, bezw. den Geräten und Gefäßen.

Die Milch-Bakterien überwiegen in den Sauermilch-Käsen, sofern diese nicht gekocht werden, der Zahl nach alle anderen natürlich bei weitem. In den Labkäsen spielen dagegen die Mikroben des Naturlabes eine sehr große Rolle, vorausgesetzt, daß solches, nicht Kunst-Lab, Verwendung fand. Naturlab enthält meist einige 100 Millionen Keime pro ccm, auf je 1 ccm Milch kommen etwa 1 Million Bakterien aus derartigem Lab. Dagegen finden sich in Lab-Pulver, Lab-Tabletten usw. in der Regel nur einige tausend Bakterien und Pilze pro Gramm. Immerhin sind die Milchbakterien für die Lab-Käserei ebenfalls von nicht geringer Bedeutung. Das gilt sowohl für die beim Melken und bei der weiteren Behandlung von außen in die Milch gelangenden Keime, wie auch speziell für die dem gesunden oder dem kranken Euter entstammenden Organismen. Oft wird die Milch vor dem Verkäsen noch einer mehr oder minder weitgehenden „Reifung“ überlassen, d. h. man läßt speziell den Milchsäure-Bakterien Zeit zu kräftiger Entwicklung. Einige hundert Millionen Keime pro ccm sind in solcher Milch meist anzutreffen.

Die Mikroben des Wassers, der Luft, der Geräte und Gefäße treten demgegenüber numerisch völlig in den Hintergrund. Immerhin gewinnen sie als Erreger von Käsefehlern leider nicht gerade selten eine unerwünschte Bedeutung. Zum Teil sind sie aber geradezu unentbehrlich. Die aus der Luft und von den Unterlagen her auf die Schimmel-Weichkäse übergehenden Pilze bieten ein derartiges Beispiel. Zuweilen macht man sich auch, wie beim norwegischen Gammelost, die

Kontakt-Infektion in den dauernd zur Aufbewahrung des Käses verwendeten Behältern zunutze.

Beim Gerinnen der Milch gehen die meisten Keime (etwa 70 bis 80 %) in das Koagulum über, gleichgültig, ob es sich um Säure- oder um Lab-Wirkung handelt. Wie sich aus dem soeben Gesagten ergibt, ist frischer Sauermilch-Käse fast immer keimreicher als der Teig eines Lab-Käses unmittelbar nach der Herstellung. Starkes Nachwärmen wirkt hier oft noch besonders vermindernd auf die Keimzahl ein. Das wird indessen dadurch ausgeglichen, daß während der nächsten Stunden in der noch warmen Käsemasse eine rapide Keim-Vermehrung Platz greift. Nach kurzer Zeit enthält dann solcher Käse weit mehr Mikroben als Sauermilch-Käse. Sehr bald aber setzt hier wie dort ein Rückgang der Keimzahl ein, der (ähnlich wie in längere Zeit aufbewahrter Butter) dauernd fortschreitet. Es wurden z. B. in Millionen pro Gramm ermittelt:

	Emmentaler Käse		Cheddar-Käse		Harz-Käse	
	außen	innen	innen	außen	innen	
frische Masse		8	10	.	.	.
1 Tag alt		450	30	70	70	
6 Tage „	300	23	
10 „ „	8500	62	41	.	.	
18 „ „	100	82	
45 „ „	66000	55	10	.	.	
150 „ „	23000	34	0,5	.	.	

Die Maximal-Zahl belief sich in der Rinde junger Emmentaler Käse auf ca. 500 000 Millionen pro Gramm; d. h. der weiße, schleimige Belag, der junge Käse überzieht, besteht fast ausschließlich aus lebenden Bakterien.

Werden die Käse bei niedriger Temperatur aufbewahrt, so bleiben die Keime länger am Leben; der Rückgang ist weniger stark ausgeprägt. Z. B. wurden in amerikanischem Cheddarkäse, bei dem die Kühl-Reifung besonders gute Resultate gibt, in Millionen pro Gramm gezählt

	am 1.	am 15.	am 70. Tage
Aufbewahrungs-Temperatur 18—20° C . . .	523	145	4
„ „ „ 3—5° C . . .	523	489	473

Die Verteilung der Mikroben im Käse-Teig ist zwar im Anfang, in der ersten Zeit nach der Herstellung ziemlich gleichmäßig. Namentlich finden sich in denjenigen Weichkäsen, die wie der Gervais-Käse möglichst bald verzehrt werden, die Bakterien stets in der sogen. Zerstreuungs-Form. Dagegen kommt es in den anderen Käsen zur Ausbildung von mehr oder weniger deutlich erkennbaren Kolonien, die weiterhin als „Reifungs-Zentren“ wirken. Speziell in älteren Hartkäsen ist diese Anhäufungs-Form die Regel (Abb. 44).

Was die Art der Keime anlangt, so brauche ich wohl kaum noch besonders hervorzuheben, daß fast ausnahmslos in allen Käsen — mögen es Lab- oder Sauermilch-Käse sein — die Milchsäure-Bakterien weitaus vorherrschen. An der Außenseite treffen wir vornehmlich die (luftbedürftigen) meist zugleich zur Lösung des Käsestoffes befähigten Milchsäure-Mikrokokken, im Innern Milchsäure-Streptokokken und Laktobazillen. Jene finden wir am sichersten in den weichen, diese in den (nachgewärmten) Hart-Käsen. Von besonderem Interesse ist es, daß die Laktobazillen hier auch dann fast allein vorkommen, wenn zunächst aus der „gereiften“ Milch große Massen von Streptokokken in den Teig gelangt sind. Z. B. war der Cheddarkäse, von dessen Schnittfläche das in Abb. 44 reproduzierte Klatschpräparat angefertigt wurde, unter Zuhilfenahme einer lediglich Milchsäure-Streptokokken enthaltenden Reifungskultur bereitet. Der reife Käse zeigte jedoch nichts weiter als



Abb. 44. Käse-Klatschpräparate (600fach vergr.),
links: Gervais-, rechts: Cheddar-Käse.

Laktobazillen. In (mit Kunstlab hergestelltem) Emmentaler-Käse wurden folgende Prozent-Zahlen für die beiden Gruppen von Milchsäurebakterien ermittelt:

	frisch	nach 1	17 Tagen
Streptokokken .	100	70	0
Laktobazillen .	0	30	100

Die Laktobazillen werden in sehr ansehnlicher Menge dem Käse dann von vornherein einverleibt, wenn Naturlab Verwendung findet. Wie wir wissen, ist gerade der Magen und der Darm von Kälbern und anderen ausschließlich oder doch vorwiegend mit Milch ernährten Tieren der Haupt-Standort der Laktobazillen. Dagegen sind die gewöhnlichen Darm-Milchsäure-Bakterien (*Bact. coli* und *aërogenes*) aus verschiedenen Gründen in der Käseherstellung höchst unbeliebt. Bei der Erörterung der abnormen Reifungsvorgänge werden wir ihrer noch speziell zu gedenken haben.

Über andere, sporenfreie und sporenbildende Bakterien brauche ich kaum etwas zu sagen. Wir werden sehen, daß sie nur relativ selten von einiger Bedeutung sind. Meist werden sie von den Milchsäure-Bildnern vollständig unterdrückt.

Da anderseits die Sproßpilze durch diese Mikroben so wesentlich begünstigt werden, daß man sie allenthalben in der Natur in Symbiose mit Milchsäure-Bakterien antrifft, so ist ihr häufiges Vorkommen in den Käsen leicht begreiflich. Eine Ausnahme machen nur die stark nachgewärmten Hartkäse. Die Einwirkung der hohen Temperaturen bringt in der Regel die Sproßpilze zum Absterben.

Gewisse Arten von Schimmelpilzen sind für die Reifung mancher Weichkäse wichtig. In den Hartkäsen sucht man aber auch sie nach Möglichkeit zu unterdrücken.

Käse-Reifung. Manche Autoren meinen, wenn sie von der „Reifung“ des Käses sprechen, nur die darin stattfindenden Stickstoff-Umsetzungen. Meines Erachtens ist diese Einengung des Begriffes nicht berechtigt, denn als „reif“ bezeichnet man ein Nahrungsmittel immer nur dann, wenn es „fertig zum Konsum“ ist. Die Stickstoff-Umsetzungen allein machen durchaus nicht das Wesen der Käse-Reifung aus. Reiner Käsestoff gibt, wenn man ihn der Zersetzung überläßt, ein faulig riechendes Produkt, das auch der begeistertste Käse-Verehrer nicht in den Mund nehmen würde. Trotzdem sind die Stickstoff-Umsetzungen hier sehr ähnlich wie bei der wirklichen Käse-Reifung. Die bei der Zerlegung des Milchzuckers und des Fettes entstehenden Produkte sind für diesen Vorgang nicht minder wichtig als die Abbau-Produkte des Käsestoffs. Man muß jene abweichende Auffassung aber im Gedächtnis behalten, da nicht wenige Arbeiten von diesem Gesichtspunkte aus geschrieben wurden. Übrigens hat auch hier die (angeblich) wissenschaftliche Umdeutung eines dem landläufigen Sprachgebrauch entnommenen Ausdrucks zu sehr überflüssigen, aber umso erbitterter durchgeführten literarischen Streitigkeiten geführt, genau so wie wir dies schon (S. 138) in bezug auf die Vorgänge bei der „Gärung, Fäulnis“ usw. vermerken mußten.

Naturgemäß verlaufen die einzelnen Teilprozesse bei der Käse-Reifung nicht nur zeitlich nebeneinander, sie wirken auch in verschiedener Weise teils fördernd, teils hemmend aufeinander ein. Und es ist mitunter nur schwer oder überhaupt nicht zu entscheiden, welchen Umsetzungen die im reifen Käse vorkommenden, überaus zahlreichen Produkte ihre Existenz verdanken. Die Käse-Reifung ist chemisch wie biologisch eines der verwickeltsten Probleme.

Daß die Mikroorganismen bei der Käse-Reifung eine sehr wichtige Rolle spielen, brauche ich wohl kaum besonders hervorzuheben. Hat

doch schon heute die Verwendung von Reifungs-Kulturen ziemlich weite Verbreitung gefunden. Allerdings üben auch die Enzyme des Labes mitunter einen nicht geringen Einfluß aus. Wie aber das Nicht-Reifen von aseptisch bereitetem Käse oder von sterilisiertem Bruch unzweideutig erweist, haben die Mikroben bezw. die von ihnen produzierten Enzyme den Hauptteil der Arbeit zu leisten.

Betrachten wir zunächst die Zersetzung des Milchzuckers. Mag es sich um Sauermilch- oder um Labkäse handeln, stets wird ein größerer oder kleinerer Teil des Zuckers zunächst und verhältnismäßig rasch in Milchsäure umgewandelt. Je nach dem Molken-Gehalt der Käse schreiten dann diese Umsetzungen schneller oder langsamer fort. Im Molken- (und infolgedessen an Milchzucker) armen Hartkäse bleibt die Säuerung relativ gering, während sie im weichen Labkäse meist ebenso hohe Werte erreicht, wie im Sauermilch-Käse. Beide Käse-Sorten zeigen infolgedessen im frischen Zustande ein ziemlich übereinstimmendes, quargartiges Aussehen.

Die Intensität dieser Säure-Bildung ist auch für den ganzen weiteren Verlauf der Käse-Reifung von entscheidender Bedeutung. Soweit die Käserei-Technik bereits die erforderliche wissenschaftliche Begründung und Ausgestaltung gefunden hat, spielt die titrimetrische Ermittlung des Säure-Gehaltes der Molken während des Kässens und in den ersten Stunden danach mit vollem Rechte eine große Rolle. Allerdings fehlt es einstweilen noch oft an der wünschenswerten Klarheit. Am weitesten ist man in dieser wie in anderer Hinsicht beim Emmentaler, Cheddar- und Parmesan-Käse gelangt, sowie bei einigen Weichkäsen nach französischer Art.

Auf Milchsäure berechnet, hat man in den Käsen selbst etwa 1— $1\frac{1}{2}$ bezw. 2—4% Säure ermittelt, je nachdem es sich um Hart- oder um Weichkäse handelte. Tatsächlich ist jedoch der Gehalt an freier Säure und speziell an Milchsäure viel kleiner. Bei der Titration wird die Azidität des Käsestoffes, der sauren Phosphate u. a. mit bestimmt. Man kann so, besonders in älteren Hartkäsen noch einen „potentiellen Säuregrad“ ermitteln, während faktisch vielleicht gar keine freie Säure mehr vorhanden ist. Bei genauen Untersuchungen muß deshalb immer auch der „reelle Säuregrad“, d. h. die Wasserstoff-Ionen-Konzentration festgestellt werden¹⁾.

Ist die Säure-Bildung zu schwach, so nehmen leicht Fehler (Blähung, Fäulnis) überhand, ist sie zu stark, so wird der Käseteig trocken und bröcklig. Zu sauer gewordene Hartkäse reifen fast nicht.

¹⁾ W. VAN DAM, Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 26, 1910, S. 189.

In den molkenarmen Käsen verschwindet der Milchzucker meist innerhalb von 8—10 Tagen. In den Weichkäsen dauert dies länger, doch enthalten auch sie im ausgereiften Zustande in der Regel keinen Zucker mehr. Die relativ großen Hartkäse sind gewöhnlich nach verhältnismäßig kurzer Zeit (etwa nach 3—5 Tagen) im Innern vollständig sauerstoff-frei, während in den kleinen, flachen Weichkäsen immer eine wenn auch nur beschränkte Aërobiose möglich ist. Auch dieser Umstand begünstigt die Entwicklung von Milchsäure-Streptokokken und Laktobazillen namentlich in den großen Hartkäsen sehr.

Der anfänglichen Säure-Bildung folgt früher oder später ein deutlicher Rückgang im Säure-Gehalt. Besonders stark tritt diese Änderung in den äußeren Partien der Weichkäse hervor, die erst stark sauer, später deutlich alkalisch reagieren. Einen gewissen Anhalt bietet auch hier der (bisher meist allein ermittelte) potentielle Säure-Grad. Z. B. wurden in Käsen nach Limburger Art als Milchsäure berechnet in Prozenten gefunden:

in frischem Zustande: 8,21

in gereiftem Zustande: außen 0,89, innen 1,35.

Daß der Säure-Rückgang speziell in den Weichkäsen außen stärker hervortritt als innen, hat seinen Grund natürlich darin, daß hier aërope Organismen eine besonders lebhafte Tätigkeit entfalten. Teils entstehen flüchtige, organische Säuren, teils Kohlensäure. Diese verdunsten entweder, oder sie werden, wie die zuerst gebildete Milchsäure, im Käse chemisch gebunden. Sowohl der Käsestoff wie der Kalk wie auch das beim Käsestoff-Abbau auftretende Ammoniak können an der Neutralisation der Säuren mitwirken. Speziell in den Hartkäsen dürften diese Faktoren meist eine ausreichende Erklärung für das Verschwinden der zuerst bemerkbaren freien Säure darbieten.

Was nun weiterhin den Abbau des Käsestoffes anlangt, so lehrt uns schon die einfache Sinnenprüfung, daß in dieser Hinsicht gleichfalls große Unterschiede bestehen zwischen Hart- und Weichkäsen, weniger dagegen wiederum zwischen weichen Lab- und Sauermilch-Käsen. In diesen kommt es zu einer mehr oder weniger vollständigen Auflösung des Käsestoffes, die eben die weiche Beschaffenheit der betreffenden Sorten, mitunter geradezu deren Auseinander-Laufen bedingt. Ebenso weist der meist intensivere Geruch (oder Gestank) dieser Käse ohne weiteres auf lebhafte Stickstoff-Umsetzungen hin. An den Hartkäsen sind diese Erscheinungen weniger oder überhaupt nicht wahrnehmbar.

Einen ziemlich guten Einblick in diese Verhältnisse gewährt die getrennte Ermittlung des löslichen, des Amid- und des Ammoniak-Stickstoffs in den verschiedenen Käsen. Als Maß für den „Umfang“ der Käsestoff-Umsetzung nimmt man den Anteil des löslichen Stick-

stoff am Gesamt-Stickstoff, als Maß für die „Tiefe“ dieses Reifungs-Vorganges die entsprechende, auf den Amid-Stickstoff entfallende Prozent-Zahl. Im allgemeinen liegt dann die Sache so, daß die Käsestoff-Umwandlung in den Hart-Käsen, in trockenen Weichkäsen sowie in wasserreicherem, aber sehr früh zum Verzehr gelangenden Weichkäsen bei geringem Umfange eine verhältnismäßig große Tiefe erreicht. In den typischen Weichkäsen (Backstein- und Camembert-Art) ist dagegen der Umfang der Umsetzung sehr groß, die Tiefe aber relativ gering. Je kleiner der Umfang der Käsestoff-Lösung und je größer im Verhältnis zum gelösten Stickstoff der auf die Amidosäuren entfallende Anteil ist, umso feiner ist im allgemeinen der Geschmack der betreffenden Käse-Sorte. Dagegen wirkt naturgemäß eine größere Ammoniak-Menge, die besonders in den ausgereiften und überreifen Weichkäsen anzutreffen ist, wenig günstig auf Geschmack und Geruch des Produktes ein.

In der nachstehenden Tabelle sind nach den Ermittlungen verschiedener Forscher die betreffenden Werte, z. T. zusammengefaßt, für besonders charakteristische Käse-Sorten wiedergegeben. Selbstverständlich kommen innerhalb derselben Sorte je nach dem Alter und der sonstigen Beschaffenheit der untersuchten Probe gewisse Schwankungen vor. Sie halten sich jedoch meist innerhalb nicht sehr weiter Grenzen. GN bedeutet Gesamt-Stickstoff, LN = löslicher Stickstoff, ZN = Amid-(Zersetzung)-Stickstoff und AN = Ammoniak-Stickstoff.

Qualität der Käse	Name der Sorte	LN in % v. GN	In % d. LN	
			ZN	AN
Sehr milder Geschmack, fast ohne Geruch	Gervais-Käse	22	20	6
	Edamer Käse	27	11	2
feiner Geschmack, an- genehmes Aroma	Liptauer Käse	32	27	3
	Emmentaler Käse	33	52	7
	Schwedischer Güterkäse	38	60	7
kräftiger in Geschmack und Aroma	Roquefort-Käse	52	45	9
	Gorgonzola-Käse	68	44	6
	Cheddar-Käse	60	55	7
sehr kräftiger Geschmack und Geruch	Harzkäse	96	8	4
	Limburger Käse	99	5	12
	Camembert-Käse	100	15	10

Der Molken- resp. Milchsäure-Gehalt ist es, der vor allem bestimmt auf den Verlauf der Käsestoff-Umwandlung einwirkt. In Hartkäsen und trockenen Weichkäsen vollziehen sich diese Umsetzungen von Anfang bis zu Ende ziemlich gleichmäßig durch die ganze Masse hin. Dagegen häufen sich in den molkenreichen Weichkäsen zunächst so große Säuremengen im Innern an, daß in diesem lange weiß bleibenden „Kern“ des Käses einstweilen alle Umsetzungen zum Stillstand kommen. Erst wenn von außen her säuretilgende Pilze oder

andere analog wirkende Mikroben in Tätigkeit treten, werden die Bedingungen zur Auflösung des Käsestoffes geschaffen, die sich zuerst im Auftreten einer durchscheinenden Zone, der sog. Speckschicht, dokumentiert.

Die Ursachen der Käsestoff-Umsetzung differieren entsprechend dem ungleichen Verlauf dieser Prozesse in den verschiedenen Käse-Sorten. Es hat lange gedauert, ehe man zu leidlich klaren Erkenntnissen auf diesem Gebiete gelangt ist. Vieles bleibt auch heute noch zu tun. Immerhin aber haben wir doch schon jetzt, namentlich dank den Bemühungen eines schweizerischen Forschers, EDUARD VON FREUDENREICH, ziemlich sicheren Grund, auf dem wir weiterbauen können. Daß ohne Mikroben keine Käse-Reifung möglich ist, wissen wir durch die von E. DUCLAUX z. T. schon vor mehr als 30 Jahren durchgeföhrten Untersuchungen. Welche von diesen Mikroben aber notwendig oder nützlich sind, das blieb lange Zeit durchaus zweifelhaft. Wie ich hervorhob, geht die Zahl der Keime im Käse nach verhältnismäßig kurzer Zeit meist rasch zurück, noch ehe die Reifung eigentlich eingesetzt hat. Erst nach dem Tode der Organismen treten deren Endo-Enzyme nach außen und kommen so zu größerer Wirksamkeit. Selbstverständlich hält es aber schon an sich ziemlich schwer, festzustellen, von welchen der vorher im Käse wuchernden Bakterien die später in Tätigkeit tretenden Enzyme herrühren. Weitere Schwierigkeiten treten hinzu, die besonders auf dem Gebiete der Symbiose und des Antagonismus liegen. Und als weiteres, ebenfalls nicht unwichtiges Moment spricht die gewöhnlich ziemlich lange Dauer der Versuche mit, sowie die Notwendigkeit einerseits möglichst unter den in praxi gegebenen Verhältnissen zu arbeiten, andererseits aber alle Fremd-Infektionen nach Möglichkeit auszuschließen.

Es steht heute fest, daß für die Stickstoff-Umsetzungen in den Hartkäsen vornehmlich zu solcher Funktion befähigte Milchsäure-Bakterien in Betracht kommen, speziell die sogen. Säure-Lab-Kokken und die Laktobazillen. Auch in den Weichkäsen spielen diese z. T. eine recht wichtige Rolle. Unterstützend oder sie ersetzend treten hier aber auch noch andere Käsestoff-lösende Bakterien sowie namentlich Sproß- und Schimmelpilze in Tätigkeit.

Im Emmentaler Käse kommen in dieser Hinsicht vor allem in Betracht: Käsestoff-lösende Mikrokokken (*Microc. casei liquefaciens*) und gewisse Varietäten von Laktobazillen, speziell *B. casei* s. Im Edamer, im schwedischen Güterkäse sowie im Cheddar-Käse ist der Sachverhalt allem Anschein nach sehr ähnlich. Nur gelangen in dem zuletzt genannten Käse infolge seines höheren Säure-Gehaltes auch die Lab-Enzyme, von denen ich sogleich noch sprechen werde, zu größerer Bedeutung.

Für Roquefort-, Gorgonzola-, Stilton-Käse und Gammelost sind neben Säure-Lab-Bakterien verschiedene graugrüne *Penicillium*-Arten oder -Rassen von besonderer Wichtigkeit. Brie-, Camembert-Käse und ähnliche Sorten mit ober-

flächlicher Schimmel-Entwicklung reifen dagegen vornehmlich unter dem Einfluß weißer *Penicillium*-Arten, käsestofflösender Milchsäure-Bakterien und einiger anderer Bakterien, die an der Außenseite den für diese Käse charakteristischen roten Belag („le rouge“) erzeugen. *Mycoderma casei* und *Oidium Camemberti* sind speziell für die zuletzt genannte Käsesorte von Nutzen. Hefen können unterstützend hinzutreten.

In Harzer und ähnlichen Sauermilch-Käsen handelt es sich gleichfalls um symbiotische Leistungen von *Oidium lactis*, Hefen und käsestofflösenden Milchsäure-Bakterien.

Welche unerwarteten Ergebnisse sich bei solcher Zusammen-Arbeit herausstellen können, ist speziell für die Backstein-Käse nach Limburger Art festgestellt worden. Hier ist hauptsächlich eine stäbchenförmige Säure-Lab-Bakterie, der *B. casei limburgensis* in Gemeinschaft mit dem *Micr. casei liquefaciens* tätig. Bei Züchtung in Milch wurden folgende Mengen an löslichen, Amid-(Zersetzung)- und an Ammoniak-Stickstoff (in % vom Gesamt-Stickstoff) gebildet:

	LN	ZN	AN
durch <i>B. casei limburgensis</i>	1,26	— 1,50	1,18
“ <i>M. casei liquefaciens</i>	51,06	6,06	1,18
“ die Mischkultur beider Arten . . .	78,28	81,88	9,80

Solche unerwartete und im ersten Augenblick vielleicht ganz unwahrscheinlich anmutende Resultate werden sich zweifellos noch oft ergeben, je weiter die Forschung in dieser Richtung fortschreitet.

Eine ziemlich isolierte Stellung nimmt der meist als Schabzieger bezeichnete, ziemlich trockene, Hartkäse-ähnliche, aus Sauermilch bereitete Kräuter-Käse ein. Hier sind es anaerobe Bazillen aus der Gruppe des *B. amylobacter*, die neben Laktobazillen in Tätigkeit treten.

Im übrigen haben sich die obligaten Anaeroben entgegen einer ziemlich nahe liegenden Vermutung als von geringer oder überhaupt keiner Bedeutung für die Reifung der meisten Käse-Sorten erwiesen. Dasselbe gilt auch für aërobae sporenbildende Bazillen, die früher für sehr wichtig gehalten und deshalb geradezu als *Tyrothrix* (d. h. Käse-Faden) in die Literatur eingeführt worden sind.

Neben den Mikroorganismen und deren Enzymen können sich unter Umständen auch Enzyme des Labes an der Lösung (weniger an dem Abbau) des Käsestoffes beteiligen. Die Vorbedingung für ihr Mitwirken ist, daß die betreffende Käsesorte genügend freie Säure (mehr als 0,3% Milchsäure) enthält. Beim Cheddar- sowie bei den meisten Weichkäsen ist diese Forderung erfüllt; deshalb sehen wir hier auch stets eine recht ansehnliche Lösung des Käsestoffes. Daß indessen diese Wirkung des im Lab enthaltenen Pepsins, vielleicht auch noch anderer Lab-Enzyme nicht von besonderer Wichtigkeit ist, erweist die Tatsache, daß die (ohne Verwendung von Lab bereiteten) Sauermilch-Käse eine gleichstarke Lösung des Käsestoffes aufweisen.

Einige Zeit schrieb man einem besonderen Milch-Enzym, der „Galaktase“, eine recht große Bedeutung zu. Allem Anschein nach handelt es sich dabei allerdings eher um ein Gemisch verschiedener Milchbakterien-Enzyme als um ein wohldefiniertes, echtes Milch-Enzym. Und es stellte sich zudem heraus, daß diese „Galaktase“ so sehr durch Säure gehemmt wurde, daß sie auch in den säure-armen, geschweige denn in den säure-reichen Käse-Sorten kaum eine irgend in Betracht kommende Wirkung entfalten konnte.

Die Spaltungs-Produkte des Käsestoffes, die man bisher aus den Käsen isoliert hat, sind bereits recht zahlreich. Je mehr in dieser Richtung gearbeitet werden wird, umso stärker wird die Liste anwachsen. Abgesehen von den stickstoff-freien Zersetzungspprodukten, auf die ich sogleich noch zu sprechen komme, sind z. B. in Emmentaler und Cheddar-Käse folgende Substanzen nachgewiesen worden: Leucin, Tyrosin, Phenylalanin, Alanin, Glykokoll, Amidovaleriansäure, Amidobuttersäure, Asparaginsäure, Glutaminsäure, Pyrrolidinkarbonsäure, Tryptophan, Histidin, Putressin, Kadaverin, Cholin, Guanidin, Lysin, Arginin, p-Oxyphenyläthylamin.

In bezug auf die Zersetzung des Fettes kann ich mich kurz fassen. In manchen Käsen ist sie verschwindend gering, in anderen recht kräftig. Speziell sind es einige aus fettreicher Milch oder unter Zuhilfenahme von Rahm bereitete Weichkäse, (Roquefort, Brie usw.) deren „pikanter“ Geruch und Geschmack zu einem wesentlichen Teile auf der Fettspaltung beruht. Werden sie längere Zeit bei hoher Temperatur aufbewahrt, so können sie geradezu „ranzig“ werden. Wie in alter Butter übt dann auch hier die weit fortgeschrittene Fett-Zerlegung einen entschieden unangenehmen Eindruck auf Zunge und Nase aus.

Bekanntlich ist die Fettspaltung ganz vorwiegend das Werk aërober Mikroben. Infolgedessen enthalten speziell die äußeren Partien der großen Hartkäse weit mehr als die inneren Teile Butter- und Kapronsäure in freier Form oder als neu entstandenes Ammoniaksalz; z. B. fanden sich in g pro 1000 g Emmentaler-Käse:

	Buttersäure	Kapronsäure
außen	1,232	0,928
innen	0,176	0,116

In den kleinen, flachen Weichkäsen ist das Ergebnis meist entgegengesetzt, z. B. enthielten 1000 g Brie-Käse in g:

	Buttersäure	Kapronsäure
außen	0,466	0,128
innen	0,572	0,139

Das beruht indessen nur auf der hier besonders begünstigten Verflüchtigung und Oxydation der betreffenden Säuren. Neben dem Fettgehalt der verkästen Milch ist es die Form und die Behandlung der Käse, die über den Grad der Fettspaltung entscheidet. Wünscht man, wie im Edamer Käse einen möglichst milden Geschmack, so bereitet man aus relativ fettarmer Milch einen Käse mit der denkbar kleinsten (kugeligen) Oberfläche und unterdrückt durch eine besondere Rindenpflege das Wachstum aërober Organismen so gut wie vollständig. Im Gegensatz dazu gibt man dem Brie-Käse eine monströs flache Form und sorgt für reichliche Entwicklung fettzersetzender Pilze. Im Roquefort-Käse muß sich zwar der Schimmel im Innern der (aus fettreicher Schafmilch) bereiteten ziemlich dicken Käse-Laibe entwickeln. Das Durchstechen der Käse mit hunderten feinster Nadelstiche sorgt indessen für ausreichende Luftzufuhr.

Das abgespaltene Glyzerin wird sofort weiter umgesetzt. Zum Teil ist sein Verbrauch die direkte Veranlassung zur Spaltung des Fettes.

Wiederholt wurde auch die Neubildung von Fett (aus Eiweiß-Substanzen) als ein für die Käseriefung wichtiger Vorgang hingestellt. Das hat sich indessen in der Hauptsache als ein Irrtum erwiesen. Speziell die Schimmelpilze können zwar etwas Fett produzieren. Aber die Mengen sind so gering, daß sie praktisch nicht in Betracht kommen. Daß aus Magermilch bereiteter Hartkäse bei der Geschmacksprüfung oft fetter erscheint, als er ist, beruht darauf, daß ihm meist ein höherer Feuchtigkeitsgehalt belassen und infolge der dadurch begünstigten stärkeren Umwandlung des Käsestoffes ihm eine weichere Beschaffenheit verliehen wird.

Sowohl bei der Milchzucker-, wie bei der Käsestoff- wie auch bei der Fett-Zersetzung entstehen allerhand Nebenprodukte — Säuren, Alkohole und Gase — die in verschiedener Hinsicht für die Reifung der Käse bedeutungsvoll werden. Speziell können aus den milchsauren Salzen, aber auch aus dem Glyzerin und aus den Amiden allerhand organische Säuren entstehen. Valerian- und Buttersäure sind in den gewöhnlichen Käsesorten (Backstein-Käse und Sauermilch-Käse) nicht selten. Für Hartkäse nach Emmentaler Art ist die (durch Vergärung des milchsauren Kalkes entstehende) Propionsäure besonders charakteristisch. Essig- und Ameisensäure sind gleichfalls allgemein nachweisbar.

Die durch Bakterien und Hefen gebildeten Alkohole werden, indem sie mit den verschiedenen Säuren Ester liefern, für das Aroma wichtig.

Gase können sowohl aus dem Milchzucker, wie aus den Laktaten, aus Glyzerin und bei dem Eiweiß-Abbau in Freiheit gesetzt werden. Normalerweise handelt es sich fast nur um Kohlensäure.

Der spezifische Geruch und Geschmack der verschiedenen Käse-Sorten hängt mit der verschiedenen Art der Reifung auf das engste zusammen. Das dürfte aus den bisherigen Darlegungen zur Genüge hervorgehen.

Milchsäure, Essigsäure, Azeton, Alkohol und die verschiedenen Ester sind die Ursache des erfrischenden Geschmackes der jung zum Konsum gelangenden Käse. Die niederen Amidosäuren (Glykokoll, Alanin u. a.) haben sich speziell für den süßlichen Geschmack von Emmentaler und ähnlichen Hartkäsen als wichtig erwiesen. Daß das Ammoniak sowohl Zunge wie Nase sehr beeinflußt, wissen wir. Die kapron-, kapryl- und kaprinsäuren Ammoniaksalze zeigen den typischen „Käse-Geruch“. Die Produkte der Fettspalzung machen den Käse „pikant“.

Lediglich auf das Aroma einwirkende Mikroben spielen in den Käsen so gut wie gar keine Rolle. Dagegen ist es allerdings, ähnlich wie bei der Rahmreifung, von großer Wichtigkeit, daß bei der Auswahl und der Fortzüchtung der an der Käseriefung beteiligten Organismen stets auf das Vorhandensein möglichst günstiger Stammes-Eigenschaften

auch in dieser Richtung geachtet wird. Daß das Salz den Käse-Geschmack wesentlich mit bestimmt, darf gleichfalls nicht vergessen werden.

Die Konsistenz des Käse-Teiges hängt einerseits von der Art der Herstellung ab. Andererseits wird sie ebenso wie die Farbe des Teiges und der Rinde durch die Reifungsvorgänge bald in stärkerem, bald in geringerem Grade beeinflußt.

Intensive Milchsäure-Bildung macht den Teig weiß, bröcklig, quargartig. Geringere Säure-Mengen führen dagegen den Käsestoff in eine Form über, in der er zwar nicht in Wasser, aber in Salzlösung löslich wird. Die vollständige Auflösung an der Außenseite führt bei den im Salzbade behandelten Käse zu einer „schmierigen“ Beschaffenheit. Im Innern wird dagegen der Teig infolge der gleichzeitigen Einwirkung der Käsestoff-Zersetzer geschmeidig bis zerfließend und nimmt dabei eine durchscheinende, je nach dem Fettgehalt gelbliche oder graue Farbe an.

Von besonderer Bedeutung ist bei dem Emmentaler Käse die richtige Art der Lochung. Zwar macht sich auch in den anderen Sorten die Gas-Bildung dadurch bemerklich, daß sie kleinere und größere Öffnungen im Teige entstehen läßt. Bei keinem Käse wird indessen so großer Wert auf schöne „Augen“ gelegt wie beim Emmentaler. Es gibt allerdings auch sehr wohlschmeckende „blinde“ Käse dieser Art; bei der Beurteilung werden sie aber eben wegen dieses Schönheitsfehlers erheblich zurückgesetzt. Die zur Lochbildung führende Gasproduktion steht hier nicht, wie früher fast allgemein und z. T. jetzt noch angenommen wird, mit der Milchzucker-Zersetzung in Zusammenhang. Es sind vielmehr die bei der Eiweiß-Zerlegung und bei der Vergärung der Laktate zu Propionsäure freiwerdenden Kohlensäure-Mengen, die im Emmentaler Käse die normalen „Augen“ entstehen lassen. Wird der Milchzucker unter Gasbildung zerlegt, so kommt es zu der gefürchteten Blähung, über die ich in der nächsten Vorlesung sprechen werde. In dem ähnlich großgelochten schwedischen Güterkäse liefert dagegen die Glyzerin-Vergärung das nötige Gas. Auch hier sehen wir also wieder, daß in den verschiedenen Käsesorten verschiedene Faktoren einen ähnlichen Effekt hervorrufen können.

Der im Käse zirkulierende Saft sammelt sich z. T. als „Tränen“ in den Augen. In älteren Käsen trocknen diese Tränen oft ein. Es bleibt dann eine Kruste von sogen. Salzsteinen zurück, die indessen nicht aus Salz, sondern vorwiegend aus Tyrosin bestehen.

20. Vorlesung.

Käse-Bakteriologie (Schluß): Käsefehler. Maßnahmen zur Regelung der Käse-Reifung. — Reinigung von Molkerei-Abwässern.

Käse-Fehler. Schon bei den normal gereiften Käsen ist es nicht immer leicht, genau entscheiden zu können, ob sie ganz fehlerfrei sind oder nicht. Namentlich bei den stark gereiften Weichkäsen ist ja die Beschaffenheit oft derart, daß eine besondere, eventuell nur zeitweise vorhandene Stimmung des Geschmackes dazu gehört, um in ihnen eine begehrenswerte Speise zu erblicken. Die z. T. recht weitgehende Umwandlung des Käsestoffes führt hier zum Auftreten von mancherlei Substanzen (Putreszin, Kadaverin, Schwefelwasserstoff, Indol u. a.), die wir sonst nur in „faulenden“ Stoffen antreffen.

Empfindliche Verdauungsorgane werden durch solche, auch bei der normalen Reifung mancher Sorten auftretende Produkte nicht selten stark irritiert. Die sogen. Käse-Vergiftungen sind in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika besonders häufig. Sicher steht das in Zusammenhang mit der durch das dort beliebte „ice-water“ stark begünstigten „indigestion“, die beinahe als amerikanische National-Krankheit angesprochen werden kann. Wie ich schon in der 14. Vorlesung (S. 202) bemerkte, sind allerdings auch, aber nur sehr selten, spezifische Käse-Gifte (Tyrotoxin, Tyroxin) nachgewiesen worden. Ziemlich häufig handelte es sich dagegen bei den Käse-Vergiftungen um pathogene Coli-Aërogenes-Formen, die wohl aus dem Kot in die Milch und in den Käse gelangt waren. Genau genommen lagen hier also nicht Vergiftungen, sondern Infektionen vor.

Auch andere pathogene Keime können durch die rasch reifenden Weichkäse unter Umständen übertragen werden. Dagegen bieten die langsam reifenden Hartkäse keinen Anlaß zu begründeten Bedenken dar. Dieser Punkt ist wichtig im Hinblick auf die sogleich noch zu erörternden Schwierigkeiten, die einer scharfen Pasteurisierung der Käserei-Milch entgegen stehen.

Über die eigentlichen Fehler in bezug auf Geruch, Geschmack und Aussehen der Käse wäre etwa das Folgende hervorzuheben.

Daß von vornherein abnorme Milch — Kolostrum, „salzige“ Milch altmilchender Tiere usw. — keinen tadellosen Käse liefern kann, ist selbstverständlich. Überwiegt ein Teilprozeß der Reifung zu sehr über die anderen, so müssen Geschmack und Geruch des fertigen Produktes darunter leiden. Zu starke Säuerung ist ebenso unerwünscht wie zu weite Umsetzung des Käseestoffes oder des Fettes. Das Resultat ist je nachdem ein saures ungereiftes, oder ein überreifes, faulig riechendes, oder ein geradezu ranziges Produkt.

Ein bitterer Geschmack kann vorübergehend auch an normal reifenden Käsen wahrgenommen werden. Bleibt er dauernd bestehen, so liegen spezifische Bakterien- oder Hefen-Wirkungen vor. Vertreter aus beiden Organismen-Gruppen können auch verschiedene andere Geschmacks- und Geruchsfehler veranlassen. So erzeugten z. B. gewisse Hefen in amerikanischem Cheddar-Käse einen faden, faulig-süßlichen Geschmack. Daß die eigentlichen Kot-Bakterien (*Bact. coli* und *aerogenes*) sich gleichfalls in dieser Richtung recht ungünstig bemerkbar machen können, ist nur zu verständlich.

Diese Organismen sind auch am häufigsten schuld an der in der Hartkäserei meist sehr gefürchteten Blähung. Hefen können ebenso wirken, tun es aber nur selten, weil sie beim Nachwärmen fast ausnahmslos absterben. Es ist nicht allein die abnorme Beschaffenheit der Konsistenz, die den Wert solcher Käse herabdrückt. Geschmack und Geruch sind in der Regel ebenfalls nicht einwandfrei. Oft setzt die abnorme Gas-Entwicklung schon unter der Presse ein. Es entstehen die sogen. Preßler oder lad-tönigen Käse. Eine heftige, mit Abspaltung großer Gasmengen verknüpfte Milchzucker-Vergärung ist die Ursache dieser Erscheinung. Die meist außer aus Kohlensäure auch aus Wasserstoff bestehenden Gase geben nicht immer nur zu übermäßiger Lochbildung im Innern und zu einer Auftriebung des Käse-Leibes Veranlassung. Gelegentlich kommt es geradezu zu einem Aufplatzen solcher Käse (Abb. 45). Seltener tritt eine nachträgliche Blähung auf. Erst nach Wochen, lange nachdem der Milchzucker verschwunden ist, führt sie zu analogen Deformierungen des Käses. Hier sind also andere Umsetzungen verantwortlich zu machen. Die Vergärung der Laktate zu Buttersäure spielt dabei wohl die wichtigste Rolle. Neben Kohlensäure entsteht auch bei diesem Prozeß Wasserstoff.

Unsaubere Milch, Mastitis-Milch oder schlechtes Lab bringen gewöhnlich die Blähungs-Erreger in die Käse. Seltener liegt die Schuld am Wasser. Regelmäßig durchgeführte Gärproben schützen vor Überraschungen. War blähende Milch oder gärendes Lab zur Verarbeitung gelangt, so kann rasche Abkühlung, d. h. Einpacken der Käse in Eis, noch einigermaßen dem Übel steuern.

Daß Mastitis-Milch sowohl dann schädlich wirken kann, wenn (gasbildende) Streptokokken-Stämme die Euter-Entzündung hervorrufen, wie auch dann, wenn es sich um Coli-Mastitis handelt, liegt auf der Hand. Allerdings sind die Streptokokken-Mastitiden oft durch nicht-gasproduzierende Varietäten verursacht. Aus hygienischen Gründen ist aber auch solche Milch, sofern eine ernstliche Erkrankung des Euters vorliegt, zum Verkäsen ungeeignet. Das Lab enthält namentlich dann viel Coli-Bakterien, wenn die Mägen nicht genügend gesäubert worden sind. Auch Buttersäure-Bazillen stellen sich in diesem Falle, ebenso wie in unreinlich gewonnener Milch, nicht selten ein.

Nicht immer entstehen bei der Blähung der Käse abnorm große Löcher. Es kann auch vorkommen, daß der ganze Teig durchweg mit

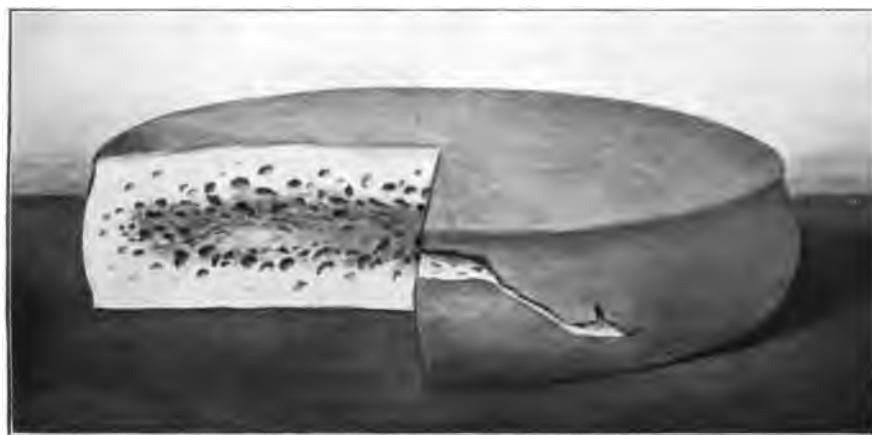


Abb. 45. Geblähter Emmentaler Käse (ca. $\frac{1}{10}$ nat. Gr.).

ungemein zahlreichen kleinen Öffnungen durchsetzt ist. Solche Käse nennt man „Nüßler“ (oder „Nißler“). Die Ursache dieser Verschiedenheiten liegt darin, daß unter Umständen, speziell bei starker Bewegung der Milch, z. B. in der Zentrifuge, die vorher vorhandenen Bakterien-Konglomerate zerschlagen werden. Die weithin versprengten Einzel-Zellen bzw. die daraus entstehenden kleinen Kolonien produzieren dann jedesmal nur relativ kleine Gasmengen, die nicht so große Öffnungen hervorrufen können, als die etwa in und um einzelne Kotteilchen gelagerten Bakterien-Massen.

Besonders gefährlich wird die Blähung dann, wenn die Säuerung ungenügend ist. Der Teig bleibt schwammig, die Molken laufen schlecht ab und es bilden sich teils faulige, teils weiße Stellen. Ist dagegen die Säuerung zu stark, wie es besonders bei milchzuckerreicher Milch vor-

kommen kann, so erlangen die Hartkäse nicht die nötige Plastizität. Es treten Sprünge im Teige auf, die ihn zu einem spaltigen Zerfall bringen können. In der Schweiz nennt man diese Erscheinung „Gläs“-Bildung und solchen Käse „Gläsler“.

Zur Schleim-Produktion neigende Milchsäure-Bakterien rufen gleichfalls an Hartkäsen, und zwar besonders an deren Oberfläche weiße schleimige Stellen hervor, von denen aus sich dann oft Risse in das Innere erstrecken, die eventuell zu weiteren fehlerhaften Umsetzungen Veranlassung geben.

Fehlerhafte Färbungen sind sowohl bei harten wie bei weichen Käsen nicht selten. Eine blaue, grüne, graue bis schwarze Verfärbung der ganzen inneren Käsemasse ist namentlich bei Sauermilch-Käsen und in solchen Labkäsen nicht selten, bei deren Herstellung stark „gereifte“, also ansaure Milch Verwendung findet. Es handelt sich hier meist nicht um eine durch Mikroben veranlaßte Erscheinung. Vielmehr beruht das Dunkelwerden des Käseteiges auf der Bildung von Schwefel-Metallen, die ihren Ursprung aus dem bei der Reifung entstehenden Schwefelwasserstoff und aus dem durch die Säure aus den Gefäßen gelösten Metall-Mengen nehmen. Rostige Milchkannen, schadhafte Stellen in der Zentrifuge (speziell an den Nietstellen) usw. geben oft Veranlassung zum Auftreten dieses Fehlers.

Bakterien oder Pilze tragen auch nicht die Schuld an der zuweilen an den äußeren Partien wahrnehmbaren Rot- oder Braufärbung, dem sogen. „Bank-Rotwerden“. Besonders die aus Weißtannen-Holz angefertigten Unterlagen (Bänke) liefern einen Saft, der beim Eindringen in die Käse diese rot-braun färbt.

Indessen gibt es auch eine nicht gerade kleine Zahl von Organismen, die auf oder im Käse fehlerhafte Färbungen hervorrufen können. Wie wir wissen, ist bei manchen Weichkäsen das Auftreten roter Beläge an der Oberfläche sehr erwünscht. In anderen Fällen gelten solche durch allerhand Bakterien und Pilze verursachte rote, braune, gelbe, grüne oder schwarze Flecke als Fehler. Eine beim Edamer Käse gelegentlich (früher häufiger als jetzt) beobachtete, auf Bakterien zurückzuführende Erscheinung ist das Blaufleckig-Werden des Käse-Teiges. Im Emmentaler Käse ist neuerdings das Vorkommen kleiner brauner, roter oder schwarzer Punkte im Innern ziemlich oft zu konstatieren. Wirksam sind hier farbstoffbildende Varietäten der gerade für diesen Käse sehr charakteristischen Propionsäure-Bakterien, deren Unterdrückung aus eben diesem Grunde auf erhebliche Schwierigkeiten stößt.

Maßnahmen zur Regelung der Käse-Reifung. In der letzten Vorlesung wies ich bereits darauf hin, daß die Käserei-Technik in

bakteriologischer Hinsicht von hervorragendem Interesse ist. Den einen oder den anderen Einzelfall habe ich auch schon gelegentlich gestreift. Aber die Sache ist wichtig genug, um sie auch einmal im Zusammenhange ins Auge zu fassen. Wir wollen zunächst den Einfluß des verwendeten Materials und der innegehaltenen Arbeitsweise betrachten, dann die speziellen Maßnahmen zur Fernhaltung und zur Unterdrückung von Käsefehlern und schließlich die Verwendung von Reifungskulturen, wobei wir auch des Pasteurisierens der Käserei-Milch zu gedenken haben werden.

Die Beschaffenheit der Milch ist in chemischer und in biologischer Hinsicht bedeutungsvoll. Kolostrum ist ganz ungeeignet. Sehr fettreiche Milch kann in der Hartkäserei leicht zu einer zu starken Bearbeitung des (abnorm weich erscheinenden) Bruches führen; die Folge ist zu große Trockenheit und mangelnde Plastizität des Teiges (also „Gläs“-Bildung). In den Weichkäsen können sich unter dieser Voraussetzung die Produkte der Fettzerersetzung zu stark anhäufen; Geruch und Geschmack der Käse werden ranzig. Milch mit sehr niedrigem Milchzucker-Gehalt lässt die Säuerung nicht genügend in Gang kommen, solche mit sehr hohem Zuckergehalt führt zum entgegengesetzten Fehler. Während es dort zu einer übermäßig starken Umbildung des Käsestoffes kommt, bleibt diese im zweiten Falle zu gering. Aseptisch gewonnene Milch gibt keinen normal reifenden Käse. Schon sehr weit getriebene Sauberkeit macht die Käserei unsicher. Die Forderungen der Technik geraten also in einen gewissen Gegensatz zu den Forderungen der Hygiene. Die beste Lösung des Dilemmas liegt in der regelmäßigen Verwendung von Reifungskulturen. Leider stehen solche aber erst für einige Käsesorten zur Verfügung. Auch der Einfluß, den die Art der Fütterung der Tiere auf den Ausfall der Käse ausübt, ist vornehmlich in Änderungen der Mikroflora der Milch begründet.

Das Lab wirkt gleichfalls chemisch und biologisch. Nicht nur die koagulierende, auch die käsestoff-lösende Wirkung ist (wenigstens für die an Säure reicheren Käsesorten) von Bedeutung. Deshalb kann durch Verstärkung des Lab-Zusatzes die Reife beschleunigt werden. Kunstlab bringt kaum irgendwelche nützlichen Mikroben in den Käse. In Verbindung mit pasteurisierter Milch entsteht (ohne Impfung) überhaupt kein einigermaßen normales Produkt. Dagegen bringt gutes Naturlab sehr wertvolle Organismen, speziell die Laktobazillen, in großer Menge in den Käse. Schlechtes Lab kann allerdings, ebenso wie schmutzige oder kranke Milch reich an Blähungserregern sein.

Nach der Art der Vorbehandlung (der „Reifung“) und der Dicklegung der Milch richtet sich zu einem guten Teile der Bestand an Säure-Bakterien bezw. der Säure-Gehalt des frischen Käse-Teiges.

Die Säure ihrerseits beeinflußt indirekt, die Stärke der Bearbeitung des Bruches direkt die Konsistenz (Feuchtigkeit, Plastizität) des Käses.

In gleicher Richtung wirkt das Nachwärmen des Bruches. Je weniger die Temperatur erhöht wird, umso weicher bleibt die Masse. Übermäßig starkes Erhitzen hat eine allzu trockene Beschaffenheit zur Folge. Vor allem ist aber diese Maßnahme für die Hartkäseherstellung sehr wichtig, weil zahlreiche schädliche Organismen (namentlich Gasbildner und Oidien) besonders dann sehr vermindert werden, wenn auf 55° C nachgewärmt wird. Die nützlichen Laktobazillen ertragen dagegen diese Temperatur ohne jeden Schaden.

Besonders gut gelingt es, die meist zu sehr starker Gasproduktion befähigten Hefen durch das Nachwärmen abzutöten. Eine gegen das Erhitzen abnorm resistente Hefe ist bisher nur einmal in Wisconsin als Blähungserreger in Käse nach Emmentaler Art aufgetreten.

Schließlich kann der Molken-Gehalt (resp. die Säure-Bildung im Teig) auch noch durch das Pressen der in die Form gebrachten Käsemasse reguliert werden.

Form und Größe der Käse sind in mehrfacher Hinsicht von Wichtigkeit. Der Gang der Temperatur und die Stärke des Luftzutrittes sind von diesen Faktoren abhängig, und sie beeinflussen ihrerseits die Entwicklung und die Tätigkeit der Mikroben auf und in den Käsen sehr wesentlich. Speziell in bezug auf die Fettzerersetzung habe ich bereits nähere Angaben gemacht. An der Tilgung der großen Säure-Mengen in den Weichkäsen sind die aëroben Organismen gleichfalls stark beteiligt. Werden die Käse von außen gesalzen, so kommt der Einfluß von Form und Größe auch deutlich zur Geltung, wie ich dies sogleich an einem Beispiele zeigen werde.

Temperatur und Feuchtigkeit der Aufbewahrungsräume wirken einerseits unmittelbar auf den Wassergehalt der Käse ein, andererseits fördern oder hemmen sie die Entwicklung der an der Reifung beteiligten Mikroben. Besonders für die unter dem Einflusse von Schimmel-pilzen reifenden Weichkäse ist dieses Moment von Wichtigkeit. Eine ausgesprochene Kältereifung hat sich speziell für den Roquefort- und für den amerikanischen Cheddarkäse sehr nützlich erwiesen.

Beim Salzen hängt das Resultat in erster Linie davon ab, ob man die ganze Masse (vor dem Formen) mit dem Salz vermischt, oder ob nachträglich von außen gesalzen wird. In jenem Falle kann ein Übermaß an Salz insofern nachteilig werden, als es die Milchsäure-Bakterien unterdrückt; infolge der zu geringen Säure-Bildung schreitet die Käsestoff-Umwandlung zu stark fort, es entstehen weiche faulige Stellen. Das nachträgliche Salzen von außen her gestattet dagegen je nach Bedarf fördernd oder hemmend auf die Umsetzungen einzuwirken.

Daß hierbei, wie gesagt, Form und Größe der Käse von erheblichem Einfluß sein müssen, ist leicht verständlich. Im Emmentaler Käse sind bekanntlich die Propionsäure-Bildner für die normale Lochung von Bedeutung. Wegen ihrer Empfindlichkeit gegen größere Salzmengen sind die Augen in den äußeren Partien auch noch dort wenig zahlreich oder fehlen sogar ganz, wo die Plastizität des Teiges ihr Auftreten wohl gestatten würde. Bei den Backsteinkäsen wirkt die Anwendung des Salzbades zusammen mit dem dauernden Feuchthalten und „Schmieren“ der Oberfläche dem hier nicht erwünschten Schimmel-Wachstum erfolgreich entgegen.

Auch bei den anderen Sorten gewährt die jeweilige Behandlung der Käse, speziell deren Rindenpflege naturgemäß noch manche Möglichkeit, die Reifung in erwünschter Weise zu beeinflussen. Diejenigen Hartkäse, z. B. der amerikanische Cheddar- und der schwedische Güterkäse, in denen die Entwicklung aerober Organismen möglichst eingeschränkt werden soll, und die nicht, wie der Emmentaler Käse längere Zeit hindurch von außen her gesalzen werden müssen, werden zweckmäßig nach dem Pressen mit einem Paraffin-Überzug versehen. Alle oberflächlichen Bakterien- und Pilzwucherungen werden so gut wie vollständig unterdrückt, zugleich wird der Wasser-Verlust sehr weitgehend eingeschränkt. Das Abschaben der Rinde bei Roquefort- und ähnlichen Käsen bezweckt ebenso wie die besondere Rindenpflege des Edamer Käses möglichst vollständige Unterdrückung oberflächlicher Bakterien- und Pilz-Ansiedlungen. Dafür wird das Wachstum der an sich luftbedürftigen Penizillien im Inneren des Roquefort-Käses durch das Durchstechen der Laibe besonders angeregt. Sofern oberflächliche Schimmel-Entwicklung eintreten soll, sorgt man vielfach durch Einlegen der Käse in Stroh oder Heu — wenn auch noch meist unbewußt — für eine ausgiebige Pilz-Infektion.

Den meisten Käsefehlern kann man, wie wir wiederholt gesehen haben, am besten dadurch vorbeugen, daß man auf den richtigen Gang der Säuerung in der Milch vor, während und in der ersten Zeit nach dem Verkäsen sorgfältig achtet. Kommt Naturlab zur Verwendung, so ist auch dessen Azidität regelmäßig zu kontrollieren. Natürlich werden solche Fehler, die lediglich auf einer mangelhaften Technik oder auf dem Eindringen von Metallsalzen beruhen, durch die Regulierung der Säuerung nicht behoben. Daß auch gewisse (aber relativ wenig zahlreiche) andere Fehler besondere Maßnahmen erfordern, erwähnte ich bereits. Am wichtigsten ist in dieser Hinsicht die Anwendung der Gärprobe zur Erkennung blähender Milch, fehlerhaften Labes und schlechten Wassers. Neben den im Notfalle zur Unterdrückung der Blähung anzuwendenden Maßnahmen kann man sich eventuell auch die (S. 70 er-

wähnte) Tatsache zu nutze machen, daß die Coli-Aërogenes-Formen, die meist die Blähung verschulden, bei Gegenwart von Salpeter den Milchzucker intakt lassen. Da das Nitrat zu Ammoniak reduziert (s. S. 155), also zu einer Substanz umgewandelt wird, die in jedem Käse vorkommt, so ist gegen diese Anwendung des Salpeters an sich kaum etwas einzuwenden. Man setzt ihn der Milch in Mengen von 20—60 g pro 100 l zu. Das bei der Reduktion entstehende Ammoniak macht dann ungefähr $1\frac{1}{2}$ — $1\frac{1}{2}\%$ vom Gesamt-Stickstoff aus. Nur darauf muß sorgfältig geachtet werden, daß der Salpeter selbst zuweilen sehr reich an Hefen ist. Solches Material bewirkt natürlich gerade das Gegenteil von dem, was man wollte.

Werden in einer Käsefabrik verschiedene Käsesorten hergestellt, oder fand ein Wechsel in der Betriebsweise statt, so kann es leicht vorkommen, daß man eigenartige Käse-„Bastarde“ erhält, z. B. nach Limburger Käse schmeckenden Tilsiter Käse u. dgl. Die spezifischen Mikroben verbreiten sich eben, wenn nicht spezielle Vorkehrungen getroffen werden, unter geeigneten Bedingungen ganz allgemein in den betreffenden Räumen. Nur durch strenge Sonderung der Räume und der Gerätschaften, eventuell durch Desinfektion und Neu-Einführung der erwünschten Mikroben kann diesem Übelstande begegnet werden.

Am sichersten würde man ja immer dann gehen, wenn man in der Käsefabrik wie bei der Butter-Bereitung stets mit pasteurisierter Milch und hochgezüchteten Reifungskulturen arbeiten könnte. Zum Teil ist das in der Tat bereits möglich. Aber es bleibt doch immer noch recht viel auf diesem Gebiete zu tun.

Relativ geringen Schwierigkeiten begegnet die Verwendung pasteurisierter Milch in der Weichkäsefabrik. Die weiche Beschaffenheit des aus erhitzter Milch zur Abscheidung gelangenden Koagulums ist hier nicht von Nachteil. Anders liegt die Sache bei den harten Käsen. Auch trotz sehr sorgfältiger Bearbeitung des Bruches ist es bei entsprechenden Versuchen oft nicht gelungen, dem Käse die richtige **Konsistenz zu verleihen**. Daß aber entsprechende Bemühungen recht wohl von Erfolg gekrönt sein können, lehren die dänischen Hart-Käsefabriken, die gesetzlich gezwungen sind, hoch pasteurisierte Milch zu verarbeiten. Da indessen eine Übertragung von Krankheiten durch die langsam reifenden Hart-Käse nicht zu befürchten ist, so darf eine möglichst saubere Milchgewinnung allerdings als vollkommen ausreichend angesehen werden.

Mag man aber nun pasteurisierte oder sehr sauber gewonnene Milch verarbeiten, stets ist die Zuführung der richtigen Reifungserreger, also eine Impfung angezeigt. Ohne eine solche würde das allen Zufälligkeiten fast wehrlos preisgegebene Produkt ja nur allzu leicht durch fehlerhafte Umsetzungen schwer geschädigt werden.

Eine direkte Zuführung der an der Reifung dieser oder jener Käsesorte vornehmlich beteiligten Organismen ist teilweise schon seit langer Zeit üblich gewesen. Bei der Herstellung von Roquefort-Käse wurde in besonderer Weise präpariertes, mit den Roquefort-Pilzen angereichertes Brot mit dem Bruch vermischt. In der Stilton-Käserei war es üblich, Böhrlinge aus älteren in junge Käse einzusetzen. Vor allem wurde aber schon seit Jahrzehnten sehr allgemein, durch Zugabe von sauren Molken, von Buttermilch oder von „langer Wei“ (d. i. die in der Edamer Käserei früher viel benutzte schleimige Molke) wenigstens in gewissem Grade für eine Regelung und Förderung der Milchsäure-Bildung gesorgt.

Nicht wenige der neuerdings als Käse-Reifungskulturen im Handel vorkommenden Präparate sind gleichfalls nichts anderes als Rein- oder Mischzuchten von Milchsäure-Bakterien, und zwar meist von Milchsäure-Streptokokken. In Dänemark, Holland, Großbritannien sowie in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika haben sich derartige Kulturen in der Hartkäserei z. T. recht gut bewährt. Als etwas Vollkommenes können sie aber zweifellos nicht gelten.

Entschieden besser durchgearbeitet und gelöst ist diese Frage für die französische Weichkäserei. Für Brie, Camembert, Roquefort, Coulommiers und andere Sorten stehen jetzt, hauptsächlich dank den Bemühungen von P. MAZZÉ, alle erforderlichen Kulturen in hervorragender Auswahl zur Verfügung. In den großen Käserei-Betrieben Frankreichs hat die Herstellung von Reinkultur-Käsen aus pasteurisierter Milch festen Fuß gefaßt. Die sowohl in flüssiger wie in trockener Form erhältlichen Kulturen werden für Frankreich vom Institut Pasteur in Paris geliefert. In Deutschland beschäftigen sich die Höchster Farbwerke mit ihrer Herstellung. Den Vertrieb hat die Gesellschaft für Milchbakteriologie m. b. H. in Frankfurt a. M. übernommen. Einige dieser Kulturen sind in Abb. 46 in $\frac{1}{5}$ ihrer natürlichen Größe wiedergegeben.

Die Herstellung des Gammelost und anderer norwegischer Käse ist von JOHAN OLSEN auf eine ähnlich sichere Basis gestellt worden.

Für die Emmentaler Käse sind, wie wir wissen, die Forschungen E. VON FREUDENREICH'S und seiner Mitarbeiter von größter Bedeutung geworden. Von der Schweizerischen Milchwirtschaftlichen Versuchsanstalt auf dem Liebefeld bei Bern werden jährlich tausende von Kulturen an die Praxis abgegeben (Abb. 46). Besonders wertvoll werden diese dadurch, daß sie es nun auch ermöglichen, statt des unsicheren und nicht selten fehlerhaften Naturlabes Kunstlab benutzen zu können. Wenn neuerdings statt der Verwendung dieser Reifungskulturen eine Ansäuerung des Naturlabes durch ein Gemisch organischer Säuren emp-

fohlen wird, so kann dieses Verfahren, das lediglich auf eine Anreicherung der schon vorhandenen Laktobazillen hinausläuft, offenbar nur in gewissen Fällen einen Ersatz für die Reifungs-Kulturen darbieten, nämlich nur dann, wenn schon genügend Laktobazillen in guter Beschaffenheit in den zur Bereitung des Labaufgusses verwendeten Materialien vorhanden waren.

In Deutschland werden ganz ähnliche Reifungskulturen für Käse nach Emmentaler Art von der Milchwirtschaftlichen Versuchsanstalt in



Abb. 46. Käserieung-Kulturen ($1/5$ nat. Gr.).

In der in der Mitte befindlichen Versandkiste stehen rechts und links je eine Liebefelder, in der Mitte darüber eine Wangener Kultur für Emmentaler Käse. Mitten vor der Kiste: eine Granakäse-Kultur, rechts und links davon Kulturen für Brie-, Camembert- und Roquefort-Käse.

Wangen (Württemberg) und von der Lehrsennerei Weiler (bayr. Allgäu) geliefert (Abb. 46).

Kurze Zeit wurde in Deutschland und Österreich auch ein Tyrogen genanntes Präparat als Impfstoff für Emmentaler Käse empfohlen, das einen als *Bac. nobilis* bezeichneten Sporenbildner (also eine „Tyrothrix“-Art) enthielt. Es verschwand aber sehr bald wieder aus dem Handel.

In die Parmesan-Käserei wurde die Verwendung von Reifungskulturen durch C. GORINI eingeführt. Die Förderung dieser Angelegenheit lässt sich die „Associazione Pro Grana“ angelegen sein. Auch für

andere italienische Hartkäse sind die Kulturen mit Erfolg benutzt worden. Eine von ihnen ist gleichfalls in Abb. 46 dargestellt.

Laktobazillen-Kulturen hat man neuerdings versuchsweise auch für Cheddarkäse in Anwendung gebracht. Sie werden sicher für diese Käsesorte noch an Bedeutung gewinnen. Desgleichen wird es wohl nicht mehr allzu lange dauern, bis man sich bei der Herstellung von Stilton-, Gorgonzola- und Brieze-Käse die Erfahrungen der Roquefort-Käserei zu nutze machen wird.

Soweit noch nicht Reifungskulturen zur Verfügung stehen, etwa auftretende Fehler oder andere Umstände aber die Verwendung pasteurisierter Milch angezeigt erscheinen lassen, wird man sich einstweilen zweckmäßig in der Weise behelfen, daß man eine Rohimpfung vornimmt mit Hilfe eines Stückes jungen, aber fehlerfreien Käses der betreffenden Sorte.

Von Zeit zu Zeit tauchen immer von neuem (meist mit dem Mantel des Geheimnisvollen umgeben — eventuell sogar patentierte) Mittel oder Verfahren auf, mit deren Hilfe es möglich sein soll, die zur regulären Reifung der Käse erforderliche Zeit auf ein Minimum herabzusetzen. Mit vollem Rechte verschwinden diese, oft nur allzu sichtbar auf die Leichtgläubigkeit der Käufer zugeschnittenen Wundermittel meist nach sehr kurzer Zeit. Ein ziemlich schwunghafter Handel wird dagegen schon seit Jahren mit Präparaten getrieben, die eine chemische Käserifung in kürzester Zeit bewirken sollen. Besonders in der deutschen Sauermilch-Käserei ist der Gebrauch dieser unter allerhand Phantasie-Namen („Maturin“, „Firmitas“ usw.) angepriesenen Mittel stellenweise leider recht verbreitet. Der wirksame Bestandteil in diesen Präparaten ist doppelkohlensaures Natron. Und das fertige Produkt ist überhaupt kein Käse, sondern ein nach Soda schmeckender Quarg. Das Natron bewirkt eine teilweise Auflösung des Quarges, in dem infolge des Einlegens in die Lösung die Säure zunächst z. T. gebunden wurde. Infolgedessen nimmt das Produkt von außen her eine gelbliche, durchscheinende Färbung an. Mit einem wirklich gereiften Käse hat aber so behandelter Quarg eine nur sehr entfernte, rein äußerliche Ähnlichkeit. Es ist in der Tat zu verwundern, daß die sonst gerade in bezug auf die Molkerei-Produkte so überaus strenge Nahrungsmittel-Polizei des Deutschen Reiches gegen Herstellung und Vertrieb dieses unter einer ihm keineswegs zukommenden Bezeichnung verkauften Soda-Quarges absolut nichts einzubinden hat.

Reinigung von Molkerei-Abwässern. Ehe wir die Molkerei-Bakteriologie verlassen, dürften ein paar Worte über die Reinigung der Molkerei-Abwässer vielleicht am Platze sein. In kleinen Betrieben wird deren Beseitigung kaum jemals erhebliche Schwierigkeiten darbieten. Anders ist das aber oft bei großen Sammel-Molkereien. Schon deren Lage bringt es leicht mit sich, daß die Abwasser-Beseitigung zu einer wirklichen oder auch nur angeblichen Belästigung der Anwohnenden führt. Dazu kommen eventuell ortspolizeiliche Vorschriften, die leider durchaus nicht immer als einwandfrei und gerechtfertigt hingenommen werden können. Jedenfalls ist es stets von Vorteil, wenn auch in dieser

Hinsicht die wünschenswerte Orientierung vorhanden ist, die jederzeit den geeigneten Ausweg finden läßt¹⁾.

Selbstverständlich ist die Zusammensetzung der Abwässer je nach Art und Führung des Betriebes sehr verschieden.

Z. B. wurden in je 1 l Abwasser (in mg) gefunden²⁾:

Abwasser	organ. Stoffe		organ. N		Fett	Milchzucker
	suspend.	gelöst	suspend.	gelöst		
aus einem Milchablieferungsraum	2681	1719	143	89	—	56
desgl.	490	155	43	25	—	—
aus einem Separatoren-Raum . .	7534	922	33	67	5665	353
desgl.	3986	2707	47	209	3098	—
aus einer Käserei	14 622		70	440	—	10 052
desgl.	3224	8469	536	475	—	—
aus einer Sammel-Molkerei . .	2738		41	77	—	316
desgl.	369	123	18	40	—	—
desgl.	908	1517	92	74	—	781
desgl., mit viel Spülwasser usw.	30	223	7	—	—	Spur

Fast immer ist aber speziell der Stickstoff-Gehalt so hoch, daß die Wässer beim längeren Stehen bald in sehr übelriechende Fäulnis übergehen.

Im großen Durchschnitt wird man annehmen können, daß die Menge der Abwässer stets etwas mehr, etwa das 1½-fache der täglich verarbeiteten Milchmengen beträgt.

Können sie in ein fließendes Gewässer, einen „Vorfluter“ abgeleitet werden, so ist das entschieden das Einfachste und Beste. Doch muß dann die Wasser-Menge des betreffenden „Vorfluters“ wenigstens dreißigmal größer sein als diejenige der zugeleiteten Molkerei-Abwässer. Andernfalls geben deren Zersetzung-Produkte zu Fisch-Sterben und sonstigen Belästigungen Veranlassung.

Ist ein brauchbarer Vorfluter nicht vorhanden, so könnte man als nächstliegenden Ausweg wohl den betrachten, daß man die Abwässer auf Rieselfelder leitet. Dazu gehört aber in erster Linie genügend Land von geeigneter Beschaffenheit, was durchaus nicht immer verfügbar sein wird. Zweitens ist eine starke Verdünnung oder eine wenig-

¹⁾ Zur Lektüre seien empfohlen: HASELHOFF, Wasser und Abwasser 1909, KOLKWITZ, Abwasser-Reinigung in LAFARS Handbuch d. technischen Mykologie, Bd. III, 1904/06, S. 370, DUNBAR, Leitfaden für die Abwasserfrage, 2. Aufl., 1912, J. KÖNIG, Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentl. Gesundheitspflege, Bd. 43, 1911, S. 111.

²⁾ A. BÖMER, Zeitschrift f. angewandte Chemie 1895, S. 194. (Striche statt der Zahlen in der Tabelle besagen, daß die betreffenden Bestimmungen nicht ausgeführt wurden, nicht aber, daß Fett bzw. Zucker gefehlt habe. Kannen-Spülwasser enthielt z. B. nach anderen Untersuchungen 160—190 mg Fett pro Liter.)

stens teilweise Vorklärung der Abwässer meist nicht zu umgehen. Die stickstoffreichen Flüssigkeiten würden andernfalls auch hier zu Fäulnisprozessen Veranlassung geben. Außerdem würden die suspendierten Stoffe, besonders das Fett, den Boden der Rieselfelder nur zu bald undurchlässig machen. In frostreichen Wintern können sich zudem noch besondere Schwierigkeiten beim Rieselfeld-Betrieb ergeben.

Eine befriedigende Lösung der Abwasser-Frage wird somit auf diesem Wege nur ausnahmsweise zu erreichen sein. Man wird sich also dann nach anderen Methoden der Abwasser-Reinigung umsehen müssen.

Eine chemische Klärung ist nur teilweise möglich. Zusatz von Kalkmilch, sauren Silikaten oder Eisensulfat bringt die unlöslichen Bestandteile zur Abscheidung. Derart vorgeklärte Molkerei-Abwässer sind jedoch gewöhnlich noch ziemlich stark zur Fäulnis geneigt.

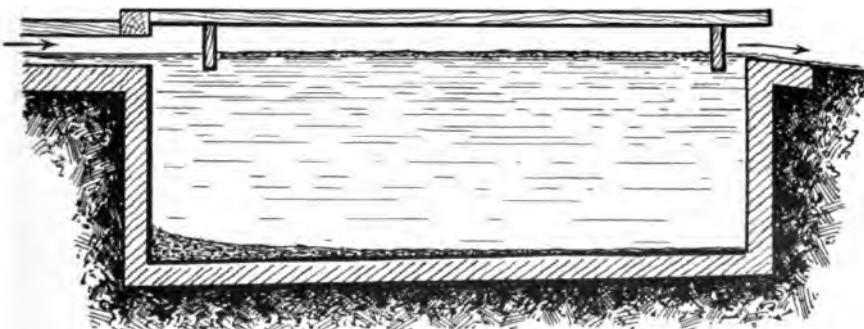


Abb. 47. Schematischer Querschnitt durch eine Faulkammer,
nach KOLKWITZ.

Zum Ziele führen erst die biologischen Reinigungs-Verfahren, speziell die Oxydations-Verfahren. Wie der Name besagt, bedienen wir uns hier der Mitarbeit oxydierender Lebewesen, d. h. im wesentlichen derselben Bakterien, Pilze und Protozoen, die auch im Boden die Zertrümmerung und Beseitigung aller organischen Reste besorgen. Bekanntlich können sich neben aëroben auch anaërobe Mikroben an diesen Prozessen beteiligen. Man hat dementsprechend für manche Arten der Abwasser-Reinigung ein speziell dem Wirken dieser Organismen Rechnung tragendes Faulkammer-Verfahren in Anwendung gebracht. Das zu reinigende Wasser passiert hier sehr langsam tiefe Behälter von ansehnlicher Größe (Abb. 47). Die schweren Stoffe sinken zu Boden, wo sie sich als Schlamm anhäufen. Zum Teil werden sie aber auch durch die aufsteigenden Fäulnisgase emporgetragen. An der Oberfläche bilden sie dann zusammen mit leichten, also speziell mit fettigen Bestandteilen

eine schwimmende Decke, die gewöhnlich durch Eintauchbretter zusammen- und zurückgehalten wird.

Eine vollständige Zersetzung der organischen Reste findet in den Faulbecken nie statt. Bei den verhältnismäßig konzentrierten Molkerei-Abwässern wird zudem der Fäulnis-Gestank in der Regel so unerträglich, daß man dieses Verfahren entweder von vornherein ausschaltete oder es doch bald wieder verlassen mußte.

Die Oxydations-Verfahren beruhen darin, daß man die (am besten chemisch vorgereinigten) Abwässer auf besonders konstruierte Filter-Körper bringt und sie hier der Einwirkung der Mikroorganismen überläßt. Das kann entweder intermittierend oder kontinuierlich geschehen. Bei dem intermittierenden Oxydations-Verfahren bleiben die

biologischen Körper abwechselnd einige Stunden gefüllt und dann einige Zeit leer. Im gefüllten Zustande spielen Absorptions-Vorgänge die Hauptrolle, nach der Entleerung wird die Oxydation besonders lebhaft. Bei dem kontinuierlichen Verfahren leitet man dagegen andauernd das zu reinigende Wasser in möglichst feiner Verteilung — etwa mit Hilfe eines rotierenden Spreng-Apparates —

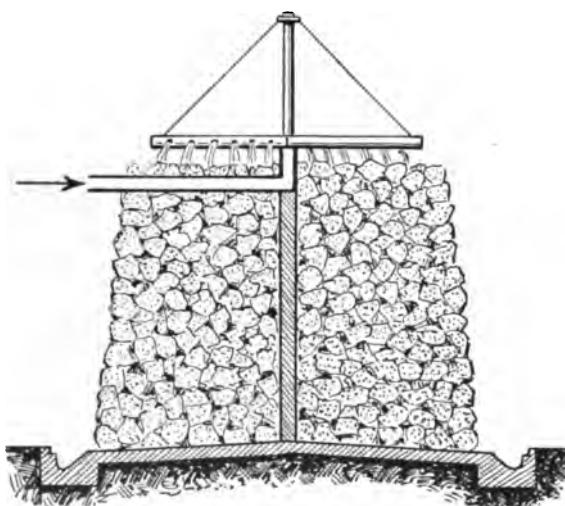


Abb. 48. Schematischer Querschnitt durch einen Tropfkörper, nach KOLKWITZ.

auf den gewöhnlich aus groben Koksstücken aufgeschichteten „Tropfkörper“ (Abb. 48). In ihm geht also fortlaufend eine ungestörte Oxydation von statt. Im allgemeinen darf das kontinuierliche Verfahren als das bessere gelten.

Speziell für Molkerei-Abwässer hat man folgende Reinigungs-Effekte nach dem Passieren der biologischen Körper festgestellt¹⁾. Es wurden (in % der anfangs vorhandenen Mengen) zersetzt:

	beim intermittierenden Verfahren	organische Stoffe	organ. N	Fett	Milchzucker
kontinuierlichen „		47—62 73—87	45—79 66—86	87—95 66—98	85—100 100

Naturgemäß können die Oxydations-Körper nur dann ordnungsgemäß funktionieren, wenn die Temperatur nicht zu niedrig ist.

¹⁾ A. KATTEIN und FR. SCHOORS, Milchzeitung, Bd. 32, 1903, S. 98, 114.

Während des Winters muß man also für genügende Anwärmung (auf 15—30° C) Sorge tragen. Bei geeigneter Verwendung des Abdampfes begegnet diese Maßnahme keinen allzu großen Schwierigkeiten.

Ist man zur künstlichen Reinigung der Molkerei-Abwässer gezwungen, so ist es jedenfalls sehr angezeigt, von vornherein die keiner Reinigung bedürfenden Kühl- und Kondenswässer getrennt von dem zu klärenden Anteil abzuleiten. Da die Konzentration dieses Teiles der Abwässer dann selbstverständlich um so höher ist, so wird man vor allem durch Einleiten in ein Absitzbecken oder durch chemische Behandlung alle suspendierten sowie einen Teil der gelösten Stoffe zur Abscheidung bringen. Der sich hierbei ergebende keim- und nährstoffreiche Schlamm stellt ein gutes Düngemittel dar, das bis zu seiner Verwendung unter einer Erd- oder Torfdecke aufzubewahren ist.

Eine kombinierte biologische und chemische Vorklärung der Molkerei-Abwässer ist von G. HAMILTON in folgender Form in Vorschlag gebracht worden¹⁾: Bei einer Temperatur von ca. 40° C werden die mit Kreide versetzten Wässer zunächst einer Vorgärung überlassen. Dann wird zunächst soviel Kalkmilch zugesetzt, daß die Reaktion schwach alkalisch wird, und sodann durch Zugabe von Wasserglas die Fällung der Eiweißstoffe beendet.

Wird bei der Vorklärung eine Rückgewinnung des Fettes angestrebt, so kann ein von CHR. KREMER ausgearbeitetes Verfahren Anwendung finden²⁾. Das Fett wird hierbei zusammen mit anderem Schlamm in besonders konstruierten Glocken mechanisch abgeschieden und angesammelt.

Die Wirksamkeit der biologischen Körper muß natürlich dauernd kontrolliert werden. Am einfachsten und sichersten geschieht das in der Weise, daß die Oxydierbarkeit des Abwassers (in saurer Lösung mittels Kalium-Permanganat) festgestellt wird.

Bei den vorhin erwähnten, von KATTEIN und SCHOOPS zur Ausführung gebrachten Versuchen, stellten sich die Verhältnisse so, daß vor der Reinigung rund 400—1800 mg Kalium-Permanganat pro Liter verbraucht wurden. Nach der Reinigung sank diese Zahl beim intermittierenden Oxydations-Verfahren um 58—98, beim kontinuierlichen um 93—98%. Die Resultate waren also, in Übereinstimmung mit den bereits mitgeteilten Zahlen, in zweiten Falle wesentlich besser.

Das vom Filterkörper abfließende Wasser könnte schließlich noch durch Ozonisierung (s. S. 122) wieder in einen vollkommen einwandfreien Zustand zurückgeführt werden. Doch wird diese Notwendigkeit kaum jemals eintreten. Bei richtiger Leitung des Prozesses entspricht die Beschaffenheit des biologisch gereinigten Wassers allen berechtigten Anforderungen.

¹⁾ Molkerei-Zeitung, Hildesheim, Bd. 18, 1904, S. 1053.

²⁾ HOFFMANN, Mitteilungen der Deutschen Landw. Gesellschaft, Bd. 19, 1904, S. 104; J. KÖNIG, Deutsche Vierteljahrsschrift für öffentliche Gesundheits-Pflege, Bd. 43, 1911, S. 111.

21. Vorlesung.

Dünger-Bakteriologie: Keimgehalt des Stalldüngers. Verlauf der Dünger-Rotte. Kohlenstoff-Umsetzungen.

Keimgehalt des Stalldüngers. Über den Keimreichtum des Stalldüngers habe ich in der 6. Vorlesung (S. 87 und 89) schon kurz gesprochen. Wir haben gesehen, daß die meisten der in der Literatur hierzu vorliegenden Angaben leider recht wenig zutreffend sind.

Nicht einige Millionen Mikroben finden sich im Gramm, sondern einige tausend Millionen. Da sie oft zu einem erheblichen Teile abgestorben sind, außerdem auch ihre Ansprüche an die Existenz- bzw. Züchtungsbedingungen sehr differieren, so liefern die Gußkulturen allerdings sehr begreiflicherweise meist viel zu niedrige Zahlen. Fertigt man aus dem keimreichsten Anteil des Düngers, d. h. aus den festen Exkrementen, ein Ausstrichpräparat an, so erhält man ein Bild wie das in Abb. 49 wiedergegebene. Neben

einigen Futterresten sieht man lediglich Mikroben verschiedener Form. Man kann auch durch Zentrifugieren die Hauptmenge der Bakterien und Pilze von den anderen Bestandteilen des Kotes trennen. Derartige Prüfungen zeigten, daß speziell die Rinder-Exkremeante zu einem sehr ansehnlichen Teile — 10 bis 20% ihrer Trockensubstanz — aus Mikroorganismen bestehen, von denen allerdings vielleicht nur die Hälfte noch am Leben ist.

Da frischer Kot etwa 20% Trockensubstanz enthält, und rund 1000 Millionen Bakterien 1 mg wiegen, so können wir die Gesamtzahl der Mikroben schätzungsweise auf etwa 20000—40000 Millionen pro g ansetzen. Denn:

$$\begin{aligned} 1000 \text{ mg frischer Kot} & \text{enthält } 200 \text{ mg Trockensubstanz,} \\ \text{hierz von } 10-20\% & = 20-40 \text{ mg} \\ & = 20000-40000 \text{ Millionen Bakterien.} \end{aligned}$$

Rund 10000—20000 pro g dürfen als lebend angenommen werden.

In menschlichen Fäzes hat man bis zu 18000 Millionen Keime pro g in lebendem Zustande angetroffen. In den Exkrementen unserer

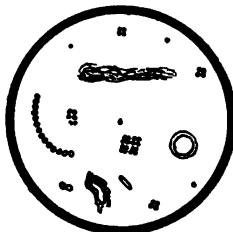


Abb. 49. Ungerfärbtes Ausstrichpräparat von Rinder-Exkrementen (700fach vergr.).

Haustiere wurden so hohe Zahlen bisher noch nicht festgestellt. Eine verbesserte Technik wird jedenfalls zu analogen Resultaten führen.

Über den Keimgehalt des aus Kot, Harn und Streu gemischten Stalldüngers liegen in den bisher publizierten Arbeiten ebenfalls keine glaubwürdigen Angaben vor. Selbstverständlich können und müssen die Zahlen von Fall zu Fall differieren. Im allgemeinen wird man aber im Hinblick auf die physikalische und chemische Beschaffenheit des Stall-düngers mit Sicherheit annehmen dürfen, daß wenigstens im Laufe der ersten Wochen, während deren der Dünger auf dem Hofe oder im Stalle lagert, eine lebhafte Vermehrung der Mikroben Platz greift. Bei starker Selbsterhitzung kann zwar, wie wir (aus der 9. Vorlesung, S. 135) wissen, eine weitgehende „Selbst-Sterilisierung“ eintreten. Für gewöhnlich beugt man aber durch feste Lagerung des Düngers, d. h. durch weitgehenden Luftabschluß, einer solchen intensiven, zu großen Substanz-Verlusten führenden Erwärmung nach Möglichkeit vor. Es wird durchaus nicht übertrieben sein, wenn wir annehmen, daß je 100 kg Stallmist rund 1—1½ kg lebende Pilz- und Bakterienmasse enthalten. Eine 40 000 kg pro ha entsprechende Düngung würde demnach dem Felde 400—600 kg lebende Mikroorganismen zuführen.

Daß in der Tat der aus Kot, Harn und Streu gemischte Dünger gleichviel, eventuell auch noch mehr lebende Keime enthalten kann als die festen Exkremente, geht aus einigen von J. H. SMITH in meinem Laboratorium ausgeführten Zählungen hervor. In den frischen Ausscheidungen und in der Streu wurden (mittels Gußkulturen) pro g an Millionen Keimen ermittelt:

Kot	Harn	Stroh
390—480	1—2	1,3—19

Kot und Stroh wurden im Verhältnis 6:1 gemischt. Die Relation zwischen Harn und Stroh stellte sich auf 9:7. Nach 6 wöchiger Lagerung der Gemische bei 20°C wurden an Millionen pro g gezählt:

Kot-Stroh-Gemisch	Kot-Harn-Stroh-Gemisch
4800—5700	11100—11600

Belief sich dagegen die Temperatur während der Aufbewahrung auf 30°C, so waren aus dem Kot-Harn-Stroh-Gemisch nach 6 Wochen noch 2700—3900, nach 12 Wochen aber nur noch 300—800 Millionen pro g zur Entwicklung zu bringen.

Es liegt auf der Hand, daß die großen Keim-Mengen, die mit dem Stalldünger in den Boden gebracht werden, auf die dort verlaufenden Umsetzungen von nicht geringer Bedeutung sind. W. KETTE, der Begründer der „Fermentations-Theorie“, hat denn auch — wie ich in der 1. Vorlesung (S. 12) betont habe — schon vor reichlich 50 Jahren mit Recht darauf hingewiesen, daß in dieser Richtung die wissenschaftliche Erklärung für die spezifische Wirkung einer Stallmist-Düngung gesucht werden müsse. Leider blieb dieser Hinweis unbeachtet. Bis in die neueste Zeit hat man sich damit begnügt, immer von neuem Zahlen auf Zahlen zu häufen, aus denen lediglich zu ersehen ist, daß

der Stallmist oft sehr ungleich wirkt und daß sein Gehalt an Stickstoff, Phosphor und Kali keinen Anhalt für den zu erwartenden Düngungseffekt gewährt.

Noch ganz neuerdings sind von B. SCHULZE ausgedehnte und kostspielige Versuche in dieser Richtung ausgeführt worden¹⁾. Die auch hier wieder sehr starke Schwankungen aufweisenden Ausnutzungs-Quoten der drei Hauptnährstoffe habe ich schon bei anderer Gelegenheit (S. 187) zitiert. Mit vollem Rechte schließt der Verfasser aus diesen Ergebnissen: „Keinesfalls kann also der Gehalt des Düngers an haupsächlich wertbestimmenden Bestandteilen eine Erklärung für die Verschiedenartigkeit der Geldwert-Leistung bieten.“ Allerdings scheint es mir ein recht erheblicher Mißgriff zu sein, diejenigen Bestandteile einer Substanz, die deren Wert nicht bestimmen, trotz alledem weiter als die „haupsächlich wertbestimmenden Bestandteile“ zu bezeichnen.

Die wechselnden Erfolge, die sich bei der Verwendung von Stalldünger herausstellen, sind dem praktischen Landwirt zur Genüge bekannt. Es verdient aber entschieden die schärfste Zurückweisung, wenn nach einer speziell von P. WAGNER in die Literatur eingeführten Gepflogenheit, aus diesen differenten Befunden Durchschnitts- oder Normal-Werte berechnet, und diese als das Ergebnis wissenschaftlicher Forschung hingestellt werden. Das ist genau so „wissenschaftlich“, als wenn jemand aus dem nach Ort und Zeit wechselnden Charakter der Witterung ein Durchschnitts- oder Normal-Wetter errechnen wollte. Die Aufgabe der Wissenschaft hat zu jeder Zeit darin bestanden, die Ursachen der mannigfaltigen Erscheinungen zu ergründen. Leider scheint man gerade in der Düngerlehre hierauf fast ganz vergessen zu haben.

Die Ausnutzung des Stallmist-Stickstoffes schwankt nicht selten zwischen rund 5 und 50%. Mithin erzielt der eine Landwirt vielleicht einen Reinertrag von 500 M. durch eine Maßregel, die bei scheinbar derselben Anwendung einem anderen den 10 fachen Nutzen, d. h. 5000 M. bringt. Ich zweifle sehr, ob jener Landwirt ganz damit zufrieden sein wird, wenn man ihm mitteilt, daß er nach den von P. WAGNER festgestellten „wissenschaftlichen Normalwerten“ einen Gewinn von 2500 M. hätte erwarten dürfen.

Die Ursachen der ungleichen Ergebnisse bei dieser, wie bei jeder anderen Art der Düngung sind sowohl physikalisch-chemischer wie biologischer Art. Daß die einfache Ermittlung der insgesamt im Stalldünger vorhandenen Quantitäten an Stickstoff, Phosphor und Kali nur von sehr geringem Werte ist, dürfte nachgerade außer Frage sein. Dagegen sind gründliche chemische wie mikrobiologische Forschungen dringend nötig. Wir müssen die Substanzen genau kennen lernen, aus denen sich der Stallmist zusammensetzt, und die während der Lagerung gebildet oder zersetzt werden, und wir müssen weiterhin Art und Wirkung der Dünger-Organismen eingehend studieren. Erst wenn diese Forderung erfüllt ist, wird es möglich werden, zu wissenschaftlich einwandfreien Grundsätzen zu gelangen, nach denen je nach den gegebenen Bedingungen am zweckmäßigsten bei der Aufbewahrung und bei der

¹⁾ Arbeiten der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft, Heft 198, 1911.

Verwendung des Stalldüngers zu verfahren ist. Nur so können wir zu möglichst weitgehender Verminderung der Verluste, andererseits zu möglichst hoher Ausnutzung der Nährstoffe gelangen.

Die enorm großen Keim-Mengen, um die es sich im Stalldünger handelt, sind zweifellos von nicht geringer Bedeutung. Ebenso wichtig oder noch wichtiger als die Zahl ist aber auch hier die Art der vorhandenen Mikroben. Gemäß den in Betracht kommenden Infektionsquellen herrschen die dem Darme entstammenden Organismen, wenigstens im Anfang, entschieden vor.

Anaërobe Bazillen aus der Verwandtschaft des *B. putrificus* ferner Fluoreszenten und Proteus-Varietäten werden speziell für die Umsetzung der stickstoffhaltigen Substanzen von Wichtigkeit. Coli-Aërogenes-Formen, Streptokokken und Buttersäure-Bakterien besorgen vornehmlich die Umwandlung der löslichen, Pektin- und Zellulose-Zersetzer diejenige der unlöslichen Kohlenhydrate. Sproß- und Schimmelpilze treten nicht selten unterstützend in Aktion. Namentlich das *Oidium lactis* ist wohl regelmäßig im Dünger anzutreffen.

Allerhand andere Mikroben können, wie wir noch sehen werden, in dieser oder jener Richtung während der Aufbewahrung und bei der Anwendung des Düngers von Nutzen oder von Schaden sein. Neben Bakterien und niederen Pilzen finden auch viele höhere Pilze auf dem lagernden Stallmist einen ihnen besonders zusagenden Standort. Ebenso werden Protozoen wohl immer nachweisbar sein, wenn sie nur erst einmal entsprechender Beachtung gewürdigt werden.

Eine eigenartige, landwirtschaftlich allerdings unwichtige Mikroben-Gruppe stellen die **Myxobakterien** (d. h. Schleim-Bakterien) dar¹⁾, die als ziemlich konstanter Bestandteil der Dünger-Mikroflora gelten können. Die an sich kugel- oder stäbchenförmigen Zellen lagern sich hier zu mitunter recht komplizierten Zellverbänden zusammen, die zuweilen das Aussehen höherer Organismen aufs täuschendste kopieren²⁾. Diese Bakterien scheinen nach den eigentlichen Schleimpilzen, den **Myxomyzeten** hin zu vermitteln, die gleichfalls im lagernden Stalldünger anzutreffen sind.

Daß der Stallmist eventuell auch als Träger pathogener Organismen fungieren kann, ist eine leider mehrfach konstatierte Tatsache. Handelt es sich um relativ leicht abzutötende Arten, z. B. um die praktisch meist in erster Linie in Betracht kommenden Erreger der Maul- und Klauenseuche, so genügt, wie ich früher (S. 109) dargelegt habe, eine rationelle Begünstigung und Ausnutzung der Selbst-Erhitzung resp. Selbst-Sterilisierung des Düngers. Die glücklicherweise relativ selten vorkommenden, mit resistenten Sporen ausgerüsteten Krankheits-Erreger, zu denen vor allem die Milzbrand-Bazillen zu rechnen sind, erfordern

¹⁾ Abgeleitet von ἡ μόξη = Schleim.

²⁾ Vgl. speziell die einer Arbeit von QUEHL beigegebenen, höchst interessanten, farbigen Abbildungen (Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 16, 1906, S. 9—34).

jedoch eine durchgreifende chemische Desinfektion des infizierten Materials (s. S. 124).

Verlauf der Dünger-Rotte. Seit alters her weiß man, daß frischer Stalldünger und in noch höherem Grade unzersetztes Stroh die angebauten Gewächse eventuell schwer schädigen können. Schon vor 100 Jahren wandte sich ALBRECHT THAER entschieden gegen den damals zuerst von chemischer Seite gemachten und seitdem oft wiederholten Vorschlag, den Stallmist (zwecks Vermeidung von Verlusten) möglichst wenig der Zersetzung zu überlassen. Mit vollem Rechte betonte THAER, daß nicht gerotteter Dünger nur dann unbedenklich in den Boden gebracht werden kann, wenn die Düngung mehrere Monate vor der Bestellung des Feldes erfolgt.

Wie ich (S. 140) dargelegt habe, wird durch die Zufuhr großer Mengen leicht angreifbarer Kohlenstoff-Verbindungen, an denen im frischen Stallmist kein Mangel ist, die Ammon- und Nitrat-Assimilation, bei durchnäßtem Boden eventuell auch die Denitrifikation entschieden begünstigt. Auch kann es vorkommen, daß die organischen Säuren, die beim Kohlenstoff-Abbau auftreten, direkt schädigend auf die Pflanzenwurzeln einwirken. Andererseits kann aus unvergorenem Harn mitunter so viel kohlensaures Ammoniak entstehen, daß dieses (infolge seiner ätzenden Eigenschaften) zum „Verbrennen“ der Gewächse Veranlassung gibt. Bekanntlich werden die Nitratbildner durch Ammonkarbonat und freies Ammoniak ebenfalls schwer geschädigt. Das gleiche gilt in bezug auf große Mengen löslicher organischer Substanzen. In der Tat ist mehrfach eine erhebliche Hemmung der Nitritifikation als Folge einer starken Stallmistdüngung konstatiert worden.

Der Zweck der Düngerrotte beruht also darin, daß erstens die organischen Substanzen soweit — aber nicht weiter — zerlegt werden, als erforderlich ist, damit sie weder auf die Kulturgewächse, noch auf die Salpeterbildner schädlich einwirken, noch auch den Ammon- und Nitrat-assimilierenden Bodenorganismen eine geeignete Kohlenstoffquelle darbieten können. Und zweitens soll ein Teil des ursprünglich in organischer Bindung vorhandenen Stickstoffs soweit umgesetzt werden, daß nach dem Einbringen des Düngers in den Acker der Nitritifikationsprozeß sogleich einsetzen kann.

Die Zersetzung der organischen Substanzen soll also während der Lagerung des Düngers zwar eingeleitet werden; ihren Abschluß soll sie aber erst im Boden finden. Nur „rotten“ soll der Dünger, d. h. er soll (wie die Gespinstpflanzen bei der natürlichen oder künstlichen Rotte) infolge der Umsetzung von Zucker, Stärke und Pektinsubstanzen „mürbe“ gemacht werden. Wenn außerdem noch ein Teil der Zellulose angegriffen wird, so hat das hier natürlich weniger auf sich als bei der

Flachsröste (s. S. 176). Aber schon der bloße Anblick eines normal gerotteten Düngers lehrt, daß die Zellulose größtenteils erhalten geblieben ist. Das Stroh ist zwar mazeriert, aber noch vollkommen in seiner ursprünglichen Form erkennbar.

Ist der betreffende Dünger relativ stickstoffarm, wie es speziell dann der Fall ist, wenn der Harn getrennt von dem Kot-Stroh-Gemisch aufbewahrt wird, so verläuft die Umsetzung sehr ähnlich wie in den Sauergruben. Unter Luftabschluß wird solcher Mist deutlich sauer. Die aus den Kohlenstoffverbindungen entstehenden organischen Säuren finden nicht genug Ammoniak vor, um mit diesem neutrale Salze zu bilden. Ist dagegen der Stickstoff-Gehalt hoch, so erinnert die Gesamtheit der Umsetzungen mehr an die in den Hartkäsen sich abspielenden Reifungsvorgänge. Die verschiedenartigsten organischen Stickstoff-Verbindungen treten auf. Gemeinsam mit dem Ammoniak rufen sie eine mehr oder minder deutlich alkalische Reaktion hervor. Infolge der Anwesenheit reichlicher Mengen von Kohlenstoff-Verbindungen werden sie aber auch zu einem großen Teile wieder in unlösliche, eiweißartige Form zurückverwandelt.

Für einen normalen Ablauf der Düngerrotte sind in der wärmeren Jahreszeit etwa 6, in den kälteren Monaten 10—12 Wochen zu rechnen. Werden die flüssigen Ausscheidungen getrennt aufbewahrt, so ist deren „Reifung“ schon nach 2—4 Wochen beendet. Das harnfreie Kot-Stroh-Gemisch wird dagegen zweckmäßig etwas länger gelagert, als dies für den harnhaltigen und deshalb rascher der Zersetzung unterliegenden Stallmist die Regel ist.

Je nach der Beschaffenheit des Düngers wird man (ähnlich wie bei der Sauerfutter-Bereitung) bei rationeller Leitung des Rottungs-Prozesses mit einer Verringerung der Trockensubstanz um etwa 10—20—30 zu rechnen haben. 40—50% betragende Verluste sind freilich auch nicht selten. Ist der Dünger zu trocken, so können eventuell sogar 60—70% der Trockensubstanz während der Lagerung zum Schwinden gebracht werden. Solchen übermäßigen Zersetzungsschäden sollte man aber stets entgegenarbeiten. So vorteilhaft die Vergärung der leicht angreifbaren organischen Substanzen unstrittig ist, so nachteilig ist doch eine zu weit gehende Umwandlung des lagernden Düngers. Denn dabei geraten ja nicht nur große Mengen an Kohlenstoff sondern namentlich auch an Stickstoff in Gasform in Verlust.

Kohlenstoff-Umsetzungen. Die in den Dünger gelangenden Kohlenstoff-Verbindungen bestehen fast immer nur zu einem relativ kleinen Teile aus Stärke, Zucker und ähnlichen leicht zersetzbaren Substanzen, in größerer Menge pflegen die Pektinsubstanzen und in größten Quantitäten die Zellulosen vorhanden zu sein. Entsprechend der un-

gleichen Zersetzungshalt hat man bei entsprechenden Versuchen feststellen können, daß sich bei sorgfältiger Behandlung des Düngers folgende Abnahmen (in % der anfänglich vorhandenen Mengen) ergaben:

Zucker usw.	Pektinsubstanzen	Zellulosen
20—30 %	15—20 %	7—10 %

Je nach den Bedingungen, unter denen die Rottung stattfindet, können sich naturgemäß sehr weit differierende Resultate herausstellen. Wie gesagt, fehlt es leider noch fast ganz an gründlichen Untersuchungen in dieser Richtung.

Einen ungefähren Einblick gewinnen wir aus einigen neuerdings von zwei holländischen und einem russischen Forscher veröffentlichten Daten.

SJOLLEMA und DE RUYTER DE WILDT¹⁾ hielten ein Kot-Harn-Gemisch teils aërob, teils anaërob bei 15 und bei 35° C. Nach Verlauf von 4½ Monaten fanden sie folgende Verluste (in %):

	aërob		anaërob	
	15° C	35° C	15° C	35° C
an organ. Substanz . . .	— 11,8	— 89,4	— 3,6	— 34,0
an Pentosanen	— 18,6	— 62,8	— 9,4	— 59,6
an Zellulose	0	— 57,0	fast 0	Abnahme

M. JEGOROW²⁾ bewahrte Pferdemist zwei Monate bei 35—37° C unter verschiedenen Versuchs-Bedingungen auf, und konstatierte dann folgende Verluste (in %):

	aërob				im CO ₂ -	unter
	mit 30	50	75	85 % H ₂ O	Strom	Hg
Trockensubstanz . . .	— 88,5	— 48,2	— 47,8	— 35,7	— 36,8	— 25,9
Pentosane	— 71,0	— 82,6	— 78,2	— 55,8	— 61,1	— 50,9
Zellulose	— 53,2	— 61,8	— 64,6	— 41,1	— 47,3	— 31,0

Unter Berücksichtigung der anderwärts — bei der Einsäuerung der Futtermittel, bei der Röste von Flachs und Hanf usw. — gesammelten Erfahrungen, sowie im Hinblick auf die durch praktische Versuche als am besten erprobte Art der Düngerpflege werden wir aber nicht fehlgreifen, wenn wir auf eine ausgiebige Durchfeuchtung und auf möglichst vollständigen Luftabschluß besonderen Wert legen. Mäßigung der Selbst-Erwärmung verhindert (wie im Sauerfutter) am erfolgreichsten eine zu weitgehende Zersetzung. Die Anwesenheit reichlicher Wasser-Mengen (mehr als 80 %) ist deshalb von besonderer Bedeutung.

Allerdings werden, wie wir wissen, auch unter anaëroben Bedingungen Stärke, Zucker, Pektinsubstanzen, Zellulose usw. von zahlreichen Bakterien angegriffen. Die großen Mengen von Coli-, Aërogenes- und Buttersäure-Bakterien, die jeder Dünger enthält, zer-

¹⁾ Landbouwkund. Onderzoeken d. Rijkslandbouwproefstations No. VII, 1910, blz. 106—146.

²⁾ Annales de l'Institut Agronomique de Moscou, T. 17, 1911, livr. 4, p. 1—58 [Russisch].

setzen gerade bei Luftabschluß die zuerst genannten Kohlenhydrate recht lebhaft. Soweit sie selbst nicht zur Stärke-Lösung befähigt sind, wird ihnen doch durch die Mitarbeit anderer, mit amyloytischen Eigenschaften ausgestatteten Arten, auch diese Kohlenstoffquelle zugänglich gemacht. Anaërobre Pektin- und Zellulose-Zersetzer gelangen gleichfalls mit den festen Exkrementen in den Dünger. Wenn auch, wie es scheint, ihre Zahl anfangs nicht sehr bedeutend ist, so wächst diese doch während der Rotte jedenfalls recht erheblich.

J. H. SMITH fand bei seinen mehrfach erwähnten Versuchen in je 1 g der festen Exkremeante 250 000 Zellulose-Zersetzer. Der sechs Wochen alte Mischdünger enthielt

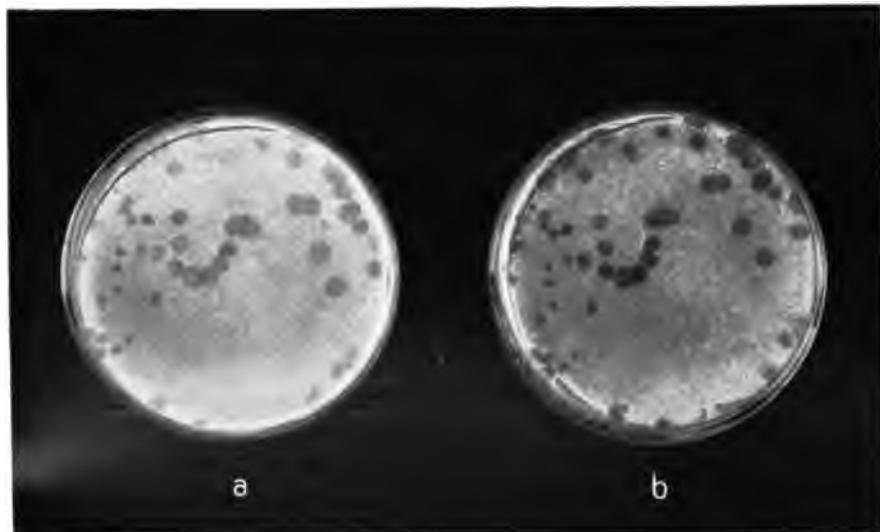


Abb. 50. Zellulose-Agar-Gußkultur ($\frac{2}{5}$ nat. Gr.),
a vor, b nach der Behandlung mit Salzsäure.

2,5 Millionen pro g. Im Vergleich zu der auf ca. 12 000 Millionen festgestellten Gesamt-Zahl ist dieser Anteil allerdings ziemlich gering. Und es ist wohl möglich, daß eingehendere Untersuchungen zu stattlicheren Resultaten führen werden.

Außerdem ist aber gerade bei der Pektin- und bei der Zellulose-Lösung die eventuell sehr weitreichende Wirkung der von den Bakterien produzierten Enzyme nicht aus dem Auge zu verlieren. Abb. 50 zeigt uns in $\frac{2}{5}$ der natürlichen Größe eine PETRI-Schale mit einer Gußkultur von Zellulose-zersetzenen Bakterien in einem Nähragar, das durch Zugabe von chemisch reiner Zellulose und Kreide trübe gemacht worden war. Wir sehen ähnliche Aufhellungszonen, wie wir sie als Wirkung der Milchsäurebakterien auf Kreide-Agar früher (Abb. 40, S. 249) kennen gelernt haben. Daß es sich aber hier in der Tat um Zellulose-, nicht einfach wieder um Kreide-Lösung handelt, zeigt der Vergleich der

Zellulose-Agar-Platte (a) vor und (b) nach der Behandlung mit Salzsäure. Diese hat die Kreide aus dem Agar herausgelöst. Infolgedessen sind (in b) die durchscheinenden Stellen klarer geworden; sie haben aber noch genau dieselbe Form wie vorher¹⁾. Die Bakterien-Kolonien selbst sind so winzig, daß man auf der Abbildung so gut wie nichts von ihnen sieht. Um so stärker tritt aber die Enzym-Wirkung hervor.

Wie die Kohlenhydrate liefern jedenfalls auch andere (stickstofffreie und stickstoffhaltige) Düngerbestandteile organische Säuren, Gase und eventuell humusartige Verbindungen.

Die organischen Säuren, unter ihnen in erster Linie die Buttersäure, sind zu einem großen Teile flüchtiger Natur. Zusammen mit Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Indol, Skatol usw. sind sie für den spezifischen Geruch des tierischen Düngers verantwortlich zu machen. Bei der Vergärung des Harnes entstehen übrigens auch recht ansehnliche Mengen von Phenolen und von (der Hippursäure entstammender) Benzoësäure. Eine kräftige Düngung mit Jauche oder Gülle bringt ca. 70 kg Phenole und 400—500 kg Benzoësäure auf die Fläche eines Hektars. Das sind Quantitäten, deren Einfluß auf das Leben im Boden jedenfalls Beachtung verdient.

Die Düngergase fand man meist als zu ungefähr gleichen Teilen aus Kohlensäure und aus Methan bestehend. Wasserstoff fehlte entweder ganz, oder er war nur in geringen Mengen vorhanden. Daraus darf indessen nicht ohne weiteres geschlossen werden, daß nur wenig Wasserstoff im Dünger gebildet wird. Im Gegenteil weist das häufige Vorkommen der fast immer (neben Kohlensäure) Wasserstoff produzierenden Coli-, Aërogenes- und Buttersäure-Bakterien deutlich darauf hin, daß auch dieses Gas in ansehnlichen Quantitäten zur Entstehung gelangt. Daß es oft vermißt wurde, hat sicherlich seinen Grund darin, daß es sowohl aërob wie anaërob durch zahlreiche Mikroben sogleich weiter umgesetzt werden kann.

Von den Wasserstoff-oxydierenden Bakterien sprach ich schon in der 12. Vorlesung (S. 186). Wie deren Tätigkeit bereits vor reichlich 70 Jahren von SAUSSURE studiert worden ist, so haben wir diesem Forscher auch die ersten Angaben über die unter Luftabschluß stattfindende Umsetzung des Wasserstoffs zu verdanken. Sehr eingehend sind diese Fragen neuerdings von N. L. SÖHNGEN bearbeitet worden²⁾. Dabei hat sich herausgestellt, daß der Wasserstoff vielfach — sowohl bei der Zellulose-, wie bei der Butyrat-, wie sogar bei der Karbonat-Zersetzung — zur Methan-Bildung verwendet werden kann.

¹⁾ Mikrophotogramme, die ebenfalls sehr deutlich die Zellulose-Lösung zeigen, finden sich in der von mir und LOCHHEAD im Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 37, 1913, S. 490 veröffentlichten Mitteilung über Zellulose-Zersetzung.

²⁾ Recueil des Travaux chimiques des Pays-Bas etc., [2^e Sér.], T. 14, 1910, p. 238 bis 274.

Wie groß die Gas-Mengen sind, die während der Lagerung aus dem Dünger entweichen, läßt sich leicht annähernd errechnen.

Setzen wir 1 cbm Stallmist = rund 1000 kg Gesamt- resp. 250 kg Trockenmasse, und nehmen wir an, daß 20 % hiervon, also 50 kg mit 25 kg Kohlenstoff in Gasform übergeführt werden, so würden etwa 46 kg Kohlensäure und 16,7 kg Methan, d. h. 2×23 500 Liter Gas zur Entstehung gelangen. Je 1 cbm Dünger liefert also unter diesen Voraussetzungen die sehr respektable Menge von 47 cbm Gas.

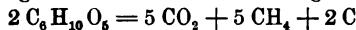
Die tatsächlich beobachteten Werte bewegen sich zwischen 10 und 100 cbm. Mit Rücksicht auf die großen Differenzen, die bei der Vergärung der organischen Substanz vorkommen können, sind diese weit auseinander liegenden Zahlen wohl verständlich.

Die Sättigung des lagernden Düngers mit Kohlensäure und Methan begünstigt selbstverständlich die anaeroben und hemmt die aeroberen Prozesse. Für den Verlauf der Rotte ist dies nur von Vorteil. Außerdem aber sind die großen Kohlensäure-Quantitäten auch direkt (wegen der durch sie bewirkten Mäßigung der Ammoniak-Verdunstung) von Nutzen. In der nächsten Vorlesung werde ich hierauf zurückkommen.

Die Farbe des gerotteten Düngers läßt ohne weiteres erkennen, daß neben den anderen Umsetzungen zugleich auch eine mehr oder minder weitgehende Humifikation des Materials stattfindet. So wenig wir leider bisher — aus früher dargelegten Gründen — über Verlauf, Ursache und Bedeutung der Humusbildung wissen, so läßt sich doch jedenfalls soviel sagen, daß eine weitgehende Humifizierung des Düngers nicht gewünscht wird. Nur der aerober, nicht dagegen der anaerob entstandene Humus ist leicht zersetztlich. Unter Luftabschluß entstehen stets torf-artige Substanzen, die in der Ackererde lange Zeit fast unverändert erhalten bleiben. Die in ihnen deponierten Nährstoffe werden somit den angebauten Nutzpflanzen nur sehr allmählich zugänglich. Da wir nun im lagernden Dünger stets für möglichsten Luftabschluß sorgen müssen, so kann hier eben auch nur diese wenig erwünschte Art der Humifikation Platz greifen.

Glücklicherweise verläuft sie relativ langsam. Eine zu weitgehende Humusbildung findet also nur bei übermäßig langer Dauer der Lagerung statt. Die ältesten Teile des Düngerhaufens zeigen gewöhnlich einen solchen torf-artigen Charakter.

Nach POPOFF könnte man diesen, natürlich von großen Substanz-Verlusten begleiteten Vorgang durch folgende Formel zur Darstellung bringen:



Neben anderen, bisher nicht näher bekannten Prozessen, spielen sicher die Wechselwirkungen zwischen stickstoffhaltigen und stickstofffreien Verbindungen, deren ich in der 12. Vorlesung (S. 183) gedachte, eine nicht zu unterschätzende Rolle. An Amidosäuren und

allerhand Kohlenhydraten fehlt es im Dünger nie. Und gerade sie liefern, infolge rein chemischer Reaktionen, die bei gewöhnlicher Temperatur wochen- und monatelang andauern, auch bei Abwesenheit von Sauerstoff dunkel gefärbte, humusartige Körper, die meist durch Schwerzersetzlichkeit ausgezeichnet zu sein scheinen. Das gleichfalls als normaler Dünger-Bestandteil vorkommende freie Ammoniak bewirkt übrigens auch eine allmähliche Bräunung des Strohs.

Die teilweise Vergärung der organischen Substanzen ist naturgemäß stets mit einer Wärme-Produktion verbunden. Bei aërober Zersetzung der Kohlenstoff-Verbindungen ist diese im allgemeinen weit größer als unter anaëroben Bedingungen.

Z. B. resultieren bei der restlosen Oxydation des Traubenzuckers zu $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ pro Gramm Zucker reichlich 4, dagegen bei der anaëroben Zersetzung in $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ nur 0,4 Kalorien.

Im übrigen ist es aber bei dem sehr wechselvollen und unregelmäßigen Gemisch aller möglichen Umsetzungen vollkommen ausgeschlossen, irgend welche festen Beziehungen zwischen Kohlenstoff-Abbau und Wärme-Produktion zu konstruieren. Und es kann sehr wohl vorkommen, daß trotz geringerer Kohlenstoff-Verluste eine stärkere Erwärmung wahrzunehmen ist, als in einem anderen Falle, in dem die Substanz-Verluste größer sind.

Daß bei relativ lockerer Lagerung und mäßiger Durchfeuchtung des Düngers die Temperatur 70° C erreichen und sogar übersteigen kann, ist uns bekannt. Wie ich in der 8. Vorlesung (S. 109) erwähnte, hat man es in der Hand, beim Auftreten von Seuchen durch entsprechende Schichtung des Düngers für dessen „Selbst-Sterilisierung“ zu sorgen. Daß es in den Mistbeeten ebenfalls die in den relativ flachen Düngerschichten lebhaft verlaufenden Oxydationen sind, die zu der reichlichen Wärmeproduktion Veranlassung geben, brauche ich nicht näher zu erläutern.

Naturgemäß sind im lagernden Dünger die oberen, stets mehr oder minder stark durchlüfteten Schichten fast immer wärmer als die unteren, fest gelagerten Partien.

Z. B. ermittelte DEHÉRAIS in ein und demselben Düngerhaufen

	in voller Gärung	nach Ablauf der Gärung
obere Schicht . . .	65—68° C	35° C
tiefe Schicht . . .	55° C	28° C

Bei einer Außentemperatur von — 21° C fand J. HANSEN im Dünger (während der ersten Woche der Lagerung)

	fest gelagert	locker
eine Maximalwärme von	7° C	67,5° C

Wie beim ensilierten Futter wird man auch beim Stalldünger im allgemeinen nach Möglichkeit darauf hinwirken, daß die Temperatur

40° C nicht übersteigt. Sehr starke Erhitzung führt (wie im selbst-erhitzten Heu usw.) zum Auftreten kohlinger Partien. Solches Material ist natürlich äußerst schwer zersetztlich und als Dünger fast wertlos. Wie sonst, sind auch hier die thermophilen, bezw. thermogenen (Wärme-erzeugenden) Organismen für die Steigerung der Temperatur bis zu ca. 70° C verantwortlich zu machen. Darüber hinaus finden gegebenenfalls dann nur noch chemische Umsetzungen statt.

Es ist gelegentlich die Ansicht geäußert worden, daß der lagernde Stalldünger als der natürliche Standort von allerhand krankheits-erregenden Mikroben in Betracht zu ziehen sei. Die meist 30 bis 40° C betragende Temperatur scheint für diese Annahme zu sprechen. Indessen haben wir uns andererseits daran zu erinnern, daß die meisten pathogenen Keime in faulenden Stoffen gewöhnlich rasch zugrunde gehen (s. S. 202). Außerdem werden in dem frisch auf die Düngerstätte gebrachten Mist während der ersten Tage wohl regelmäßig so hohe Temperaturen erreicht, daß die hiergegen ziemlich empfindlichen Krankheits-erreger, sofern sie überhaupt in den Dünger gelangt sind, zum Absterben gebracht werden. Die Wahrscheinlichkeit jener bisher unbewiesenen Annahme ist also jedenfalls nicht sehr groß. Daß in gewissen Fällen (speziell bei der Maul- und Klauenseuche und beim Milzbrand) die Dünger-Behandlung allerdings alle Beachtung erfordert, glaube ich ge-nügend hervorgehoben zu haben.

22. Vorlesung.

Dünger-Bakteriologie (Schluß): Stickstoff-Umsetzungen. Maßnahmen zur Regelung des Verlaufes der Dünger-Rotte.

Stickstoff-Umsetzungen. Unsere Kenntnisse über den Verlauf der Stickstoff-Umsetzungen im Dünger sind leider vorerst noch sehr mangelhaft. Gesamtstickstoff-Bestimmungen können kaum irgend welchen Einblick in den Mechanismus dieses Teiles der Dünger-Rotte erschließen. Es ist unbedingt notwendig, daß durch vollständigere chemische Analysen diese höchst wichtigen Fragen etwas mehr aufgehellt und die Grundlagen geschaffen werden, auf denen dann die mikrobiologische Forschung weiter bauen kann. Vor allem bedürfen die Stickstoff-Verluste während der Lagerung, sowie die sehr ungleiche Wirkung des Stallmist-Stickstoffes nach dem Unterpflügen des Düngers dringend einer eingehenden Bearbeitung. In jedem Ackerbau treibenden Lande sind es Millionen-Werte, um die es sich hier handelt.

Die Schwankungen im Stickstoff-Gehalte der verschiedenen Düngersorten können recht bedeutend sein.

Z. B. ergaben sich bei einer größeren Zahl von Dünger-Analysen (nach einer Mitteilung MÄCKERS) folgende Grenzwerte:

Dünger von	Pferden	Rindern	Schafen	Schweinen
Gesamtstickstoff . . .	0,39—0,70 %	0,34—0,65 %	0,55—1,22 %	0,70 %
Ammoniakstickstoff . . .	0,07—0,34 "	0,04—0,20 "	0,22—0,47 "	0,22 "
Amidstickstoff . . .	0—0,07 "	0—0,08 "	0,03—0,14 "	0,09 "

Kot und Streu enthalten den Stickstoff vorwiegend in eiweißartiger und nur zu einem relativ kleinen Teile in löslicher Form. Dagegen enthält der Harn fast nur löslichen Amidstickstoff und zwar vorwiegend als Harnstoff und Hippursäure. In geringeren Mengen können sich Phenazetursäure (Glykokoll-Phenylessigsäure) und Harnsäure hinzugesellen.

Je nach der Mischung der verschiedenen Dünger-Komponenten muß wie die Quantität so auch die Zersetzungskraft der stickstoffhaltigen Bestandteile variieren. Außerdem aber üben die Bedingungen, unter denen die Lagerung stattfindet, weitgehenden Einfluß aus.

Die neuerdings von SJOLLEMA und DE RUYTER DE WILDT veröffentlichten, schon in der 21. Vorlesung (S. 316) teilweise zitierten Untersuchungs-Ergebnisse liefern hierzu interessante Belege. Der Stickstoffgehalt des benutzten Kot-Harn-Gemisches erlitt folgende Änderungen:

	aërob		anaërob	
	15° C	35° C	15° C	35° C
Gesamt-Stickstoff	— 6,7 %	— 7,6 %	0	0
Eiweiß-Stickstoff	— 4,5 %	Abnahme	Abnahme	— 13,4 %
unverdaul. Eiweiß-Stickstoff	+ 8,2 %	Zunahme	Abnahme	Zunahme
Amid-Stickstoff	Abnahme	"	"	"
Ammoniak-Stickstoff	+ 4,6 %	+ 1,8 %	+ 65 %	+ 15 %

Einige ältere von E. B. VORHEES und J. G. LIPMAN herrührende Zahlen lassen das differente Verhalten von Harn-freien und Harn-haltigen Kot-Stroh-Gemischen sehr deutlich erkennen. Berechnet in % des Gesamt-Stickstoffes ergaben sich nachstehende Resultate:

Versuchs-Jahr	Dünger	Kot + Streu			Kot + Streu + Harn		
		organ. Stickstoff		Ammon-Stickstoff	organ. Stickstoff		Ammon-Stickstoff
		unlöslich	löslich		unlöslich	löslich	
1904	frisch	86,2	6,1	7,7	45,1	17,2	87,7
	gerottet	76,8	10,1	18,1	62,4	8,2	29,4
1905	frisch	85,0	7,4	7,6	51,6	15,8	82,6
	gerottet	83,2	7,9	8,9	67,1	9,5	23,4

Ammoniak-Bildung, Ammon- und Amid-Assimilation, Nitifikation und Stickstoff-Entbindung differieren je nach den obwaltenden Umständen und führen so zu mehr oder minder abweichenden Gesamt-Resultaten. Sehen wir zu, was im einzelnen in dieser Hinsicht bekannt ist.

Die Ammonifikation ist schwach, soweit die festen Exkreme mente und die Streu, stark, soweit die flüssigen Ausscheidungen in Frage kommen. Vom Kot-Stickstoff wird etwa $\frac{1}{3}$, vom Stroh-Stickstoff ca. $\frac{1}{4}$ durch Pepsin-Salzsäure gelöst. Und es wurden demgemäß, auch bei sehr langer Ausdehnung der Versuche, bestenfalls 20 % des Kot-Stroh-Stickstoffes ammonifiziert. Meist bleibt diese Zahl viel niedriger.

Z. B. wurden in den von J. H. SMITH ausgeführten Versuchen innerhalb 6 Wochen bei 20° C in % vom Gesamt-Stickstoff in Ammoniak übergeführt

$$\begin{array}{ll} \text{feste Exkreme} & \text{desgl. + Harn} \\ \text{nte + Stroh} & \\ 2,0-2,8 & 28,4-30 \end{array}$$

Im harnhaltigen Gemisch waren 75—80 % des Harn-Stickstoffs zu Ammoniak abgebaut worden.

Da 10—20 % der Kot-Trockensubstanz aus Bakterien besteht, und der Stickstoff-Gehalt der Kot-Trockensubstanz sich auf 2—3, der Bak-

terien-Trocken-Substanz aber auf ca. 10 % beläuft, so haben wir damit zu rechnen, daß etwa die Hälfte des in den festen Exkrementen vorhandenen Gesamt-Stickstoffs in Form von Bakterien- und Pilz-Substanz zugegen ist. Zum Teil, vielleicht zur Hälfte handelt es sich um lebende Zellen. Deren Stickstoff kommt also für die Ammoniak-Bildung zunächst überhaupt nicht in Frage. Die andere Hälfte besteht aber aus so resistentem Material, daß sie erst nach längerer Zeit und nur teilweise mineralisiert werden kann. Hierüber habe ich früher (S. 157) das Wissenswerteste bereits mitgeteilt.

Der im Harn enthaltene Stickstoff wird aus gleichfalls schon (S. 150) erörterten Gründen unter geeigneten Bedingungen rasch und so gut wie restlos ammonifiziert. Überläßt man die flüssigen Ausscheidungen allein der Vergärung, so findet man nach 1—2 Wochen etwa 80—90 % des Gesamt-Stickstoffs in Form von Ammon-Karbonat, organischen Ammon-Salzen oder als freies Ammoniak vor.

Der Stickstoff der festen Bestandteile des tierischen Düngers verhält sich also in bezug auf seine Abbau-Fähigkeit zu dem der flüssigen Ausscheidungen diametral entgegengesetzt.

Wird der Harn mit den strohigen Bestandteilen vermischt, so ist die unvermeidliche Folge die, daß der Stickstoff entweder direkt, also von der Amid-Stufe aus, oder nach intermediärer Ammoniak-Bildung zu einem kleineren oder größeren Teile assimiliert wird. Da es an den zu solcher Funktion befähigten Mikroben in dem überaus zahl- und artenreichen Gemisch der Dünger-Organismen niemals fehlt, so ist es im wesentlichen nur die Stärke des Luftzutrittes, die darüber entscheidet, in welchem Umfange dieser unerwünschte Prozeß sich vollzieht. Unerwünscht ist er natürlich deshalb (oder sollte es doch wenigstens sein), weil die Verwendung des Ammoniak- und des Amid-Stickstoffes zum Aufbau lebender Mikroben-Substanz mit einer erheblichen Werts-Verminderung gleichbedeutend ist. Es ist ungefähr so, als wenn man den im Ammonsulfat vorhandenen Stickstoff vor der Verwendung derart präparieren wollte, daß seine düngende Wirkung etwa bis auf diejenige des Ledermehles oder eines ähnlich minderwertigen Stickstoff-Düngers herabgedrückt würde.

Luft-Abschluß verzögert zwar entschieden den Assimilations-Prozeß, aber er unterdrückt ihn nicht vollständig. Und es ist deshalb bei der gewöhnlichen Art der Gewinnung und Aufbewahrung des Mischdüngers wohl immer mit einer recht ansehnlichen (30 % und mehr des Harnstickstoffs erfassenden) Überführung des löslichen Stickstoffes in unlösliche Form zu rechnen.

Die vorhin mitgeteilten Ergebnisse der Versuche von VORHEES und LIPMAN lassen diese Erscheinung sehr deutlich hervortreten. — Daß mitunter sogar 70 % des

Harnstickstoffs von den Assimilanten in Anspruch genommen werden können, führte ich bereits in der 11. Vorlesung (S. 156) mit an.

In der Tat ist es durchaus keine Seltenheit, daß der gerottete Dünger nicht mehr, sondern weniger löslichen Stickstoff und speziell weniger Ammoniak enthält als das frische Material. Das ist indessen das gerade Gegenteil von dem, was durch die Rottung normalerweise bewirkt werden soll.

Benutzt man zum Auffangen des Harnes statt des Strohes den an leicht zersetzbaren Kohlenstoffverbindungen ärmeren Torf, so kann die Ammon- und Amid-Assimilation naturgemäß nicht einen so großen Umfang annehmen. Vollkommen ausgeschlossen ist sie jedoch nicht. Einerseits stellt der Torf den assimilierenden Mikroben etwas brauchbaren Kohlenstoff zur Verfügung, andererseits kann speziell die Hippursäure bei ausreichender Lüftung zugleich als Kohlenstoff- wie als Stickstoff-Quelle Verwendung finden.

Nur die getrennte Aufbewahrung der flüssigen Ausscheidungen unter Luftabschluß ermöglicht es, die Ammon- und Amid-Assimilation auf das denkbar geringste Maß herabzusetzen.

In bezug auf die Nitrifikation im lagernden Dünger lauten die meisten Literatur-Angaben dahin, daß überhaupt kein oder nur Spuren von Salpeter nachweisbar waren. Auf der anderen Seite wird indessen von Befunden berichtet, die ergaben, daß unter Umständen (speziell nach sehr langer Lagerung des Düngers) $\frac{1}{5}$ des insgesamt vorhandenen Stickstoffs, mitunter sogar noch mehr in Form von Nitrit oder Nitrat vorhanden sein kann.

In der 10. Vorlesung (S. 153) wies ich darauf hin, daß eine lebhafte Nitrifikation nur dann möglich ist, wenn 1) für ausreichenden Luftzutritt gesorgt ist, 2) nicht zuviel lösliche organische Substanzen vorhanden sind und 3) der Gehalt an freiem oder kohlensaurem Ammoniak sich in sehr engen Grenzen hält.

Bei Nitrifikations-Versuchen in Abwässern ist neuerdings festgestellt worden¹⁾, daß dann, wenn auf 1 Teil Stickstoff 10 Teile löslicher Kohlenstoff (in organischer Form) entfallen, Salpeterbildung noch möglich war. Sie unterblieb dagegen, wenn 12 Teile Kohlenstoff vorhanden waren. Mit Stalldünger sind derartige Versuche bisher nicht angestellt worden. Selbstverständlich ist aber die Qualität der löslichen organischen Kohlenstoff-Verbindungen nicht ohne Bedeutung.

Der Fall, daß der Gehalt des Düngers an löslichen Kohlenstoff-Verbindungen die Nitrifikation ausschließt, wird wohl nicht allzu häufig sein. Der Luftzutritt ist in den oberen Dünger-Schichten, sofern diese nicht, wie es mitunter üblich ist, mit einer Erdschicht überdeckt sind, jedenfalls auch als durchaus ausreichend anzusehen. Wäre nun

¹⁾ H. W. CLARK und G. O. ADAMS, Journ. Ind. Engin. Chemistry, Vol. 4, 1912, p. 272, ref. Chemiker-Zeitung, Repertorium, Bd. 36, S. 356.

zudem das Ammoniak in geeigneter Form und Menge zugegen, so dürfte in der Regel mit einer nicht unbedeutenden Salpeterbildung im Dünger zu rechnen sein. Gerade hier liegt aber ein erheblicher Hindernungsgrund vor. Als Quelle des entstehenden Ammoniaks kommen praktisch nur die Stickstoff-Verbindungen des Harnes in Frage und sie liefern gerade kohlensaures bzw. freies Ammoniak. Natürlich werden daraus z. T. fettsaure Ammon-Verbindungen, aber es ist sehr fraglich, ob diese nicht eher den viel rascher arbeitenden Ammon-Assimilanten anheimfallen. In den oberen Schichten eines an Harn armen Düngers wird man am ehesten Nitrifikation erwarten dürfen. Vollkommen vom Harn befreites Kot-Stroh-Gemisch bietet dagegen ebenso wie ein Harn-reiches Material kein zusgendes Wirkungsfeld für die Salpeterbildner.

Daß sehr oft kein oder fast kein Salpeter im Dünger angetroffen wurde, ist natürlich kein Beweis dafür, daß die Nitrifikation wirklich unterblieb. Der Salpeter könnte ja sogleich, nachdem er entstand, wieder assimiliert oder auch denitrifiziert worden sein.

In der Tat ist von BR. NIKLEWSKI¹⁾ vor einigen Jahren der wichtige Nachweis erbracht worden, daß in locker lagerndem, relativ wenig Harn enthaltendem Dünger trotz negativen Ausfalles der Diphenylamin-Probe (Reaktion auf Salpeter) eine lebhafte Vermehrung der Nitritbakterien und demnach zweifellos auch eine namhafte Nitrit-Bildung möglich ist. Anfangs waren 400 Keime dieser Art pro g nachweisbar, nach vier Wochen aber 10 000—30 000. In Harn-reichem Tiefstalldünger wurden diese Organismen indessen fast oder völlig vermißt.

Bei mangelhafter Düngerpflege wird demnach am ehesten mit einer kräftigen Nitrifikation zu rechnen sein.

Die Salpeterbakterien fehlen normaler Weise aus naheliegenden Gründen sowohl in den festen wie in den flüssigen Exkrementen. Auch die Streu enthält sie nicht oder doch nur in geringer Zahl und in geschwächtem Zustande. Reich an diesen Keimen pflegt dagegen der in dünner Schicht am Boden und an den unteren Teilen der Stallwände, der Ummauerungen der Düngerstätten usw. stets vorhandene Stallschmutz zu sein. Impft man ihn in eine mit Kreide versetzte Ammonsulfat-Lösung ein, so erhält man in der Regel eine recht kräftige Nitrifikation. —

Nicht geringere Differenzen und Unklarheiten, wie wir sie bei den anderen Umsetzungen im Dünger immer oder wenigstens einstweilen noch in Kauf nehmen müssen, erschweren leider auch sehr die Beantwortung der Frage nach Ursache und Einschränkung der Stickstoff-Verluste. Daß hier in erster Linie an die Verflüchtigung des Stickstoffs

¹⁾ Centralblatt für Bakteriologie, II. Abt., Bd. 26, 1910, S. 388—442.

in Gestalt von Ammoniak zu denken ist, liegt auf der Hand. Eine Visite im Pferdestall zu früher Morgenstunde in kalter Jahreszeit wird diese Tatsache (durch die Nase) dem Gedächtnis unauslöschlich einprägen.

Der Einfluß der verschiedenen Streu-Arten macht sich hierbei eventuell sehr deutlich geltend. Torf und Erde absorbieren das Ammoniak, während es vom Stroh besonders leicht verdunstet. Beispielsweise wurden bei eintägiger Lagerung des Düngers im Stalle folgende Stickstoff-Verluste beobachtet¹⁾, die höchstwahrscheinlich lediglich auf Ammoniakverdunstung zurückzuführen sind:

aus Torfstreu-	Stroh-	Sägespäne-Dünger
7,1%	19,8%	11,1%

Es wäre indessen eine mit zahlreichen zuverlässigen Beobachtungen unvereinbare Annahme, wollten wir die Ammoniak-Verdunstung als die alleinige und ausreichende Erklärung der Stickstoff-Verluste des Düngers ansehen.

Zweifellos entweichen bald kleinere, bald größere Anteile des Stickstoffs in elementarer Form. Wie dies geschieht, das ist allerdings noch großenteils fraglich.

Aus der 11. Vorlesung her wissen wir, daß drei Wege mehr oder weniger gut bekannt sind, auf denen der Stickstoff in elementarer Form aus dem Dünger entweichen kann. Erstens kann die etwa gebildete freie salpetrige Säure mit Ammoniak und gewissen Amiden in der Weise reagieren, daß es zu einer Stickstoff-Entbindung kommt. Zweitens gibt es allem Anscheine nach bisher nicht näher bekannte Mikroben, die das Ammoniak und vielleicht auch organische Stickstoff-Verbindungen derart oxydieren, daß dabei Stickstoff in Freiheit gesetzt wird. Und drittens wäre an die eigentliche Denitrifikation zu denken, bei der unter direkter oder indirekter Beteiligung von zahlreichen Bakterien und anderen Organismen aus Nitrat oder Nitrit Stickstoff abgespalten werden kann.

Natürlich fehlt es im Dünger niemals an allerhand denitrifizierenden Mikroben. Ich konnte sie gelegentlich einmal sogar noch in einer 14 Jahre alten Mistprobe nachweisen. Impft man eine passend zusammengesetzte Salpeter-Lösung mit ein wenig Stalldünger, so erhält man regelmäßig eine kräftige Denitrifikation. Man hat gerade dieses Experiment wiederholt als wichtigstes Beweisstück für die im Dünger selbst stattfindende Denitrifikation hingestellt. Offenbar sehr zu Unrecht! Wäre der Stickstoff im Stallmist, wie in der Nitrat-Lösung, in Form von Salpeter zugegen, dann wäre allerdings die Beweisführung als korrekt anzusehen. Da diese Voraussetzung nicht oder doch nur in sehr beschränktem Umfange zutrifft, kann auch jenem Versuche irgend welche Beweiskraft nicht zuerkannt werden.

¹⁾ H.J. von FEILITZEN, Svenska Moßkulturfören. Tidskrift, Bd. 24, 1910, p. 10, ref. Centralbl. f. Agrikulturchemie, Bd. 39, S. 694.

Wie gesagt, ist unter gewissen Umständen in der Tat eine mäßige Nitrifikation im Dünger möglich. Und in einem solchen Falle werden wir selbstverständlich auch damit zu rechnen haben, daß entweder jene Umsetzung mit Ammoniak und Amiden oder eine echte Denitrifikation zur Entbindung kleinerer oder größerer Stickstoff-Mengen führen wird.

Indessen liegt doch eine ansehnliche Zahl von Beobachtungen vor, die deutlich darauf hinweisen, daß Stickstoff-Verluste in elementarer Form auch dann stattfinden, wenn die Voraussetzungen für das Zustandekommen einer Nitrifikation nicht gegeben sind. Leider stehen wir hier am Rande eines fast völlig unbekannten Gebietes. Und es ist — ich muß wiederholt darauf hinweisen — höchst bedauerlich, daß von den großen Summen, die so oft für gänzlich überflüssige Versuche verbraucht werden, nicht wenigstens ein kleiner Teil für die Bearbeitung dieser wissenschaftlich wie praktisch gleich wichtigen Fragen Verwendung findet.

Wir haben regelmäßig mit Stickstoff-Verlusten zu rechnen, die 20—30% vom Gesamt-Stickstoff des Düngers ausmachen. Nicht selten steigen sie auf 40, zuweilen sogar auf 60%. Jahr für Jahr geraten in einem Lande wie Deutschland für einige Hundert Millionen Mark Stickstoff auf diesem Wege in Verlust. Und solche Werte gehen verloren, ohne daß man es für nötig hält, umfassende und eingehende Untersuchungen über die Ursachen dieser für die ganze Volkswirtschaft höchst bedeutungsvollen Erscheinung anzustellen.

Allerdings sind die hier anstehenden Aufgaben nicht so einfach zu erledigen, vielleicht auch nicht so verlockend, wie die Errechnung jener äußerst beliebten pseudo-wissenschaftlichen „normalen Wirkungswerte“ der verschiedenen Düngemittel. Es ist vor allem notwendig, die Untersuchung der imrottenden Stallmist verlaufenden Umsetzungen durch genaue Gas-Analysen zu vervollständigen. Solange hier nicht Klarheit geschaffen ist, können bakteriologische Untersuchungen ebenfalls kaum zu brauchbaren Resultaten führen.

Die experimentellen Schwierigkeiten sind gerade hier sehr groß. Da der Kohlenstoff-Gehalt des Düngers dessen Stickstoffgehalt etwa um das 20—30fache übersteigt, so kann es sehr wohl vorkommen, daß bei lebhafter, etwa 30% der Masse ergrifrender Zersetzung, trotz gleichmäßigen Verlaufes des Kohlenstoff- und des Stickstoff-Abbaues neben 99% CO_2 , CH_4 und H nur etwa 1% N nachweisbar ist. Da der Stickstoff bei der Analyse als „Restgas“ zuletzt bestimmt wird, so ist die für ihn sich ergebende Zahl natürlich durch die unvermeidlichen analytischen Fehler besonders beeinträchtigt. Dazu kommt, daß gelegentlich auftretende andere flüchtige Substanzen (wie CO , C_2H_6) eventuell noch zu besonderen Trübungen des Bildes Anlaß geben.

Das eine können wir aber wohl schon heute als ziemlich sicher annehmen, daß unter anaeroben Bedingungen entweder gar keine oder doch eine wesentlich geringere Abspaltung freien Stickstoffes statt-

findet als bei ungehindertem Luftzutritt. Es scheinen eben speziell Oxydations-Prozesse zu sein, die zu diesen Verlusten führen. Luftabschluß wird also auch in dieser Hinsicht günstig wirken.

Maßnahmen zur Regelung des Verlaufes der Dünger-Rotte. Unzulänglich wie unser Wissen von der Dünger-Rotte selbst sind auch unsere Kenntnisse über die Verfahren zu deren zweckentsprechender Regelung. Sehr wenige wissenschaftliche, aber umso mehr rein empirische Versuche wurden angestellt, die natürlich zu keinen endgültigen, einwandfreien Ergebnissen führen konnten.

Manche Autoren glaubten den Tiefstall als die beste Düngerstätte zu allgemeinster Anwendung empfehlen zu müssen. Es ist unbestreitbar, daß bei ordnungsmäßiger Handhabung der hierzu erforderlichen Einrichtungen in der Tat die Verluste in diesem Falle innerhalb recht enger Grenzen gehalten werden können. Freilich ist es auch möglich, daß die Zersetzung im Tiefstall überhaupt zu gering bleibt, und solcher „ungare“ Dünger dann auf dem Felde die erwartete Wirkung vermissen läßt.

Die meisten Bedenken gegen diese Kombination von Stall und Düngerstätte liegen aber auf hygienischem Gebiet. Dienen die Stallungen den Tieren nur vorübergehend zum Aufenthalt, so wird man gegen den Tiefstall nicht viel einzuwenden haben. Anders liegt die Sache dann, wenn es sich um dauernd im Stalle gehaltenes und speziell um Milchvieh handelt. Sowohl wegen der bei der Milch-Gewinnung dringend wünschenswerten Sauberkeit, wie wegen der leider nur allzu oft nötig werdenden Maßnahmen gegen Übertragungen von Mastitis-Streptokokken und anderen pathogenen Keimen durch die Streu verdient der Flachstall entschieden den Vorzug.

Das Ausbringen des Düngers auf die Düngerstätte sollte täglich mindestens einmal, besser aber mehrmals erfolgen. Kann die Einrichtung so getroffen werden, daß die Transportwagen unterhalb des Stallbodens laufen, daß also der Dünger direkt durch verschließbare Öffnungen nach unten hin beseitigt werden kann, so ist das speziell in den dem Milchvieh eingeräumten Stallungen sehr am Platze.

Wird durch regelmäßige, gründliche Spülung des hinteren Teiles der Stände und der Jauche-Rinnen dafür gesorgt, daß sich hier nicht allzu ausgedehnte Herde von Ammoniak-bildenden Bakterien einnisteten, so läßt es sich wohl erreichen, daß während der Lagerung des Düngers im Stalle selbst noch so gut wie gar keine Zersetzung stattfindet. Dadurch werden nicht nur Stickstoff-Verluste vermieden, auch die Luft im Stalle bleibt wesentlich reiner.

Auf der Düngerstätte ist der Mist sogleich sorgfältig einzubauen, nötigenfalls — aus früher dargelegten Gründen — mit Wasser

hinreichend anzufeuchten und fest zu treten. Besonders rationell ist das stellenweise übliche Verfahren, den Dünger streifenweise bis zur vollen Höhe (etwa $1\frac{1}{2}$ m) aufzuschichten und dann sogleich mit einer Erdschicht zu überdecken. So wird am besten für den unbedingt notwendigen, weitgehenden Luftabschluß gesorgt.

Jedes spätere Bewegen und Durchmischen der Masse ist möglichst zu vermeiden. Besonders wenn der Dünger einmal in die Gärung eingetreten ist, würden dadurch die Umsetzungen in recht unerwünschter Weise verstärkt. Einige Zahlen-Beispiele hierzu gab ich in der 5. Vorlesung (S. 76).

Meist ist es gegenwärtig noch üblich, die flüssigen Ausscheidungen im Gemisch mit Kot und Streu aufzubewahren. Seltener findet eine Trennung der festen und der flüssigen Bestandteile statt.

Es soll durchaus nicht bestritten werden, daß es auch bei Anwendung des zuerst genannten Verfahrens möglich wird, die Stickstoff-Verluste während der Rotte auf ein relativ geringes Maß herabzusetzen. Allerdings wird dann oft noch ein recht ansehnlicher Teil des Ammoniaks beim Ausbringen des Düngers auf das Feld in Verlust geraten. Wirtschaftliche Gründe werden ebenfalls gern gegen die von verschiedenen Seiten in Vorschlag gebrachte und in manchen Gebieten seit Jahrhunderten übliche Trennung des festen und des flüssigen Düngers ins Feld geführt. Es ist indessen kaum zu bestreiten, daß sich diese Methode der Dünger-Behandlung recht wohl auch da einführen lassen wird, wo sie bisher nicht landesüblich war.

Harn enthält relativ viel Stickstoff in leicht zersetzlicher und infolgedessen rasch wirkender Form. Die festen Exkremeante und die Streu kommen als Stickstoff-Quelle kaum in Betracht. Ihr Wert beruht darin, daß sie den Boden an Bakterien und an Material zur Humusbildung bereichern. Es ist zweifellos das beste, so sehr ungleichartige Düngungsstoffe nicht zu vermischen; sondern getrennt zur Anwendung zu bringen. Daß die Vermischung von Harn und Stroh stets erhebliche Werts-Verminderungen zur Folge haben muß, habe ich dargelegt. Kann man sich zur verstärkten Anwendung der flüssigen Düngung nicht entschließen, so bietet das getrennte Auffangen des Harnes in Torf oder Erde noch einen leidlich guten und jedenfalls besseren Ausweg dar, als die Vermischung von Harn und Stroh.

In der Jauche-Grube muß ebenso wie auf der Düngerstätte selbstverständlich nicht nur für vollständige Undurchlässigkeit des Bodens und der Wände, sondern auch für möglichst weitgehenden Luftabschluß gesorgt sein. Sehr gut hat sich das Überschichten der Jauche mit Öl bewährt. Auch paraffinierte Holzdeckel können dem gleichen Zwecke dienen.

Das harnfreie Kot-Stroh-Gemisch rottet zwar etwas langsamer als der mit dem Harn vermischte Dünger. Bei ausreichendem Zusatz von

Wasser und etwas längerer Lagerung erhält man aber ebenfalls ein gares, keimreiches Material.

Kann der gerottete Dünger nicht rechtzeitig auf dem Felde Verwendung finden, so sollte er aus bereits erwähnten Gründen doch nicht übermäßig lange auf der Düngerstätte verbleiben. Es ist in einem solchen (besser zu vermeidenden) Falle angezeigt, ihn einstweilen in größeren Haufen am Rande des später zu düngenden Feldes fest aufzuschichten und mit einer 30—40 cm starken Erddecke allseitig zu umgeben.

In bezug auf die chemische Konservierung des Düngers kann ich mich kurz fassen. Bereits in den Jahren 1840—1870 hat man alle möglichen Mittel durchprobiert, um den Stickstoff des Düngers vor der Verflüchtigung zu schützen. Das Ergebnis fast aller Versuche war negativer Art. Gleichwohl wurden sie nahezu in derselben Weise und mit demselben Ergebnis in den Jahren 1885—1905 nochmals wiederholt. Auch hier sind große Summen vergeudet worden, die bei anderer Verwendung viel mehr Nutzen hätten bringen können. Solange wir über die im lagernden Dünger sich abspielenden Umsetzungen noch so wenig wissen, wie jetzt, sind wesentliche Fortschritte auf dem Gebiete der Dünger-Konservierung kaum zu erwarten. Das eine ist aber jedenfalls klar, daß die neuerdings wieder einmal angepriesenen Mittel zur Abtötung der Dünger-Organismen entweder nutzlos oder höchstens schädlich sein müssen. Daß in solcher Weise präparierter Dünger auf dem Felde eventuell vollkommen versagt, ist nur allzu verständlich.

Von Konservierungs-Verfahren, die auf die Eigenart des tierischen Düngers, speziell auf das Leben in ihm Rücksicht nehmen, kennen wir, abgesehen von der besprochenen Trennung der festen und der flüssigen Bestandteile, bisher nur zwei. Die eine Methode läuft auf eine Einimpfung der vornehmlich an der Düngerotte beteiligten Organismen hinaus. Sie wurde von dem französischen Agrikulturchemiker DEHÉRAIN in Vorschlag gebracht und besteht einfach darin, daß man beim Ausfahren des Düngers etwas gut gerotteten Mist zurückbehält, um ihn als Unterlage, d. h. als Impfstoff für das neu hinzugebrachte Material zu verwenden. Man erreicht dadurch, daß von vornherein eine lebhafte Gärung einsetzt. Die entstehende Kohlensäure verhindert die Dissoziation des Ammon-Karbonats und damit die Verflüchtigung des Ammoniaks. Bei entsprechenden Versuchen bewirkte dieses einfache Hilfsmittel in der Tat eine recht erhebliche Herabsetzung der Stickstoff-Verluste.

Das zweite auf biologischer Grundlage ruhende Verfahren röhrt von dem schwedischen Bakteriologen CHR. BARTHEL her¹⁾. Leider ist

¹⁾ Deutsche landwirtschaftliche Presse, Bd. 39, 1912, S. 583.

es bisher nur dort anwendbar, wo größere Quantitäten Molken billig zur Verfügung stehen. Man strebt nämlich darnach, den Zuckergehalt des Düngers und damit dessen Säure-Produktion zu erhöhen. Die Verwendung von 2—4 Liter Molken pro Tier und Tag haben sich als sehr wirksam (und bei einem mäßigen Preise der Molken) auch als sehr rentabel erwiesen.

Trennt man den Harn vom Kot-Stroh-Gemisch, so erreicht man indessen auch ohne Zucker-Zugabe bei genügendem Luft-Abschluß eine schwach-saure Reaktion des festen Düngers. Andererseits erleidet bei sorgfältiger Aufbewahrung die Jauche ebenfalls nur unbedeutende Stickstoff-Verluste. Notwendig ist es allerdings, daß solches wertvolles Material mit besonderer Sorgfalt dem Boden einverleibt wird. In der 24. Vorlesung werde ich noch ein paar Worte hierzu sagen. Durch Zugabe von Schwefelsäure kann zwar das vorhandene Ammonkarbonat in Sulfat umgesetzt und so einer Verflüchtigung vorgebeugt werden; doch sind die Kosten dieses Verfahrens nicht unbedeutend.

23. Vorlesung.

Boden-Bakteriologie: Zahl, Art und Leistungen der Boden-Organismen. Methodik der bakteriologischen Bodenforschung. Beeinflussung der Mikro-Flora und -Fauna durch Bearbeitung, Düngung und Nutzung des Bodens.

Zahl, Art und Leistungen der Boden-Organismen. Vor etwa 30 Jahren haben ROBERT KOCH und seine Mitarbeiter damit begonnen, die Verbreitung der Bakterien in den verschiedenen Bodenarten und Erdschichten eingehend zu studieren. Die folgenden Jahrzehnte brachten zahlreiche, gleichgerichtete Untersuchungen. Über die innerhalb weiter Grenzen schwankenden Zahlen der Boden-Organismen sind wir infolgedessen ziemlich gut orientiert.

In der 6. Vorlesung (S. 82—84) teilte ich das Wichtigste über die Keimzahl im Boden bereits mit. Daß im nährstoff-armen, dürren Sande meist viel weniger Mikroben anzutreffen sind, als im feuchten, an Nährstoffen und insbesondere an Humus reichen Lehmboden ist selbstverständlich. Dort werden wir gewöhnlich nur einigen Tausenden, hier Millionen oder Hunderten von Millionen dieser kleinsten Erdbewohner begegnen. Daß wir sie in jeder Erdprobe vorfinden, mag diese dem tropischen Urwalde, dem hohen Norden, der Wüste oder der Salzsteppe entstammen, kann nicht überraschen. Die sehr ungleichen Lebensbedürfnisse der verschiedenen Arten von Mikroorganismen, ihre Anpassungsfähigkeit, ihre oft so erstaunlich große Resistenz gegenüber schädlichen Einflüssen und die sehr zahlreichen Verbreitungs-Möglichkeiten müßten es vielmehr höchst wunderbar erscheinen lassen, wenn wir irgendwo einen Boden ohne Bakterien und Pilze vorfinden würden.

In einem gegebenen Boden stellt zwar der Nährstoff-Vorrat eine ziemlich konstante Größe dar. Um so weniger beständig sind aber die anderen, das Leben der Mikroben gleichfalls bestimmenden Faktoren: Feuchtigkeit, Luftzutritt und Wärme. Kann es danach überraschen, daß auch in derselben Erde die Keimzahl andauernd kleineren und größeren Schwankungen unterworfen ist? Sicherlich nicht.

Nur das verdient besonders hervorgehoben zu werden, daß die Keimzahl in der Erde dann, wenn sie durch stark eingreifende Schädi-

gungen, z. B. durch lange anhaltenden Frost, durch große Dürre oder durch spezifische physikalische bezw. chemische Eingriffe zunächst bedeutend deprimiert worden ist, später (nach Überwindung dieser Schädigung) zu um so bedeutenderer Höhe anzusteigen pflegt. Die Maximal-Zahl wurde infolgedessen meist im zeitigen Frühjahr gefunden. Der Herbst bringt oft einen zweiten Höhepunkt in der Entwicklung. In gewissen Fällen ist es möglich, den Keimgehalt des Bodens ganz nach Wunsch herab- und heraufzusetzen. In der 25. Vorlesung werde ich näher hierauf eingehen.

Daß der Stallmist große Massen von Bakterien und Pilzen in den Boden bringt, ist uns bekannt. Bei der Kultivierung von Neu-land ist er gerade aus diesem Grunde besonders wertvoll. Im übrigen ist aber das Anwachsen der Keimzahl in neu-kultiviertem Lande natürlich zu einem sehr großen Teile eine Folge der verbesserten Existenz-Bedingungen.

Auf die Anführung langer Zahlen-Reihen glaube ich verzichten zu dürfen. Sie könnten kaum etwas anderes dar tun, als was man bei einem Nachdenken von selbst finden wird. Überdies haben diese Gesamt-Zahlen, gerade soweit es sich um den Boden handelt, nur eine sehr untergeordnete Bedeutung. Zweifellos gewähren sie eine allgemeine und jedenfalls nicht uninteressante Orientierung über das Leben im Boden. Doch dürfen wir uns durch die im ersten Augenblick oft sehr hoch erscheinenden Zahlen nicht zu unrichtigen Vorstellungen verleiten lassen. Wir müssen das im Gedächtnis behalten, was ich bei früheren Gelegenheiten (S. 21 und 83) über die hier zu berücksichtigenden Größen-Verhältnisse dargelegt habe.

Die Rolle, welche die Mikroorganismen im Boden spielen, ist von deren Zahl so wenig abhängig, daß irgend welcher Zusammenhang zwischen Zahl und Leistung kaum erkennbar ist. Nur die Leistungen der Mikroben sind es aber, die für den Landwirt von Interesse sind. Das immer wiederholte Auszählen der im Boden zur Entwicklung kommenden Organismen hat genau so viel oder so wenig Wert, als wenn man die Gesamtzahl der auf dem Felde wachsenden Pflanzen — ganz unbekümmert darum, ob es Unkräuter oder Nutzpflanzen sind — bestimmen wollte. Und selbst, wenn jemand auch nur die Zahl der auf der Fläche eines Hektars gedeihenden Kulturgewächse, z. B. die Zahl der Roggenhalme als Maßstab zur Beurteilung der Fruchtbarkeit des betreffenden Ackers in Vorschlag bringen würde, ich zweifle sehr, ob er damit irgend welchen Anklang fände. Wie je eine Million Roggenpflanzen sehr ungleiche Erträge liefern kann, so kann naturgemäß auch je eine Million Salpeter-Bakterien sehr ungleiche Mengen Salpeter im

Boden entstehen lassen. Auf den Effekt — nicht auf die Zahl der Organismen — kommt es uns an.

Ermittelungen über die Art der im Boden lebenden Organismen sind zweifellos von größerem Werte als die einfachen Zählungen. Daß aber auch sie — sei es allein, sei es in Verbindung mit numerischen Angaben — keinen befriedigenden Einblick in die „Tätigkeit“ eines Bodens gewähren können, geht aus jenem Vergleich zur Genüge hervor. Wie man aus der Art der auf einer Fläche wild wachsenden höheren Pflanzen oft einen annähernd richtigen Rückschluß auf die Qualität des betreffenden Bodens ziehen kann, so bieten qualitative Studien über die Mikroorganismen des Bodens allerdings ebenfalls einige mehr oder minder brauchbare Anhaltspunkte dar. Entsprechend der floristischen Abschätzung der Bodenqualität hat man auch unter den Bakterien und Pilzen nach bestimmten „Leitororganismen“ gesucht; bisher allerdings nur mit recht wenig Erfolg. Aber auch wenn man mit der Zeit zu befriedigenderen Resultaten kommen sollte, so wird der Wert derartiger Forschungen doch immer mehr in botanischer, speziell in pflanzengeographischer Richtung liegen. Für den Landwirt sind Ermittelungen über Zahl und Art der Mikroben immer nur insofern von wesentlichem Interesse, als sie Schlüsse auf deren Leistungen zu ziehen gestatten.

Aus diesem Grunde brauche ich dem, was ich schon früher (S. 82) über die vier Hauptgruppen von Erdorganismen, d. h. über die Bakterien, Pilze, Protozoen und Algen, gesagt habe, einstweilen kaum etwas hinzuzufügen. Soweit sie für die Umsetzungen im Boden von Wichtigkeit sind, werden wir uns weiterhin mit ihnen beschäftigen. Nur einer, erst in den letzten Jahren deutlicher erkannten Tatsache will ich schon hier gedenken. Ich meine das zeitweilige Überhandnehmen der Protozoen. Diese Tiere nähren sich bekanntlich von Bakterien. Ihr Vorherrschen hat deshalb einen Rückgang im Bakterien-Bestande notwendig zur Folge. Andererseits wirkt natürlich eine zunächst, z. B. im Frühjahr einsetzende, reichliche Vermehrung der Bakterien als Anreiz auf die Protozoen. Fehlt es nicht an Feuchtigkeit und Wärme, so nehmen diese ansehnlich zu, infolgedessen sinkt die Bakterienzahl. Wegen Nahrungsmangel sterben dann aber nicht wenige der Protozoen ab. Bei ihrer Zersetzung kommt es wiederum zu einer starken Vermehrung der Bakterien. Und nun kann das Wechselspiel von neuem beginnen.

Je wasserreicher das Substrat ist, um so besser gedeihen im allgemeinen die Protozoen. Namentlich in Rieselfeldern kommen sie oft zu so starker Entwicklung, daß durch weitgehende Dezimierung des Bakterienbestandes die Reinigung der Rieselwässer eventuell sehr viel zu wünschen übrig läßt. Doch auch in Wiesen-, Wald- und Ackererde

begegnet man ihnen fast ausnahmslos in ansehnlicher Zahl. Ihr Appetit ist sehr groß. Jedes dieser Tierchen verzehrt hunderte von Bakterien pro Tag mit Leichtigkeit. Selbstverständlich ist auch ihr „Geschmack“ verschieden; manche Protozoen ziehen diese, andere jene Bakterien-Arten vor. Ein besonders geschätztes Protozoen-Futter ist allem Anschein nach das große, nährstoffreiche Azotobakter. Läßt man die zur elektiven Kultur dieser Art bestimmten Anhäufungs-Versuche längere Zeit stehen, so sieht man nach 2—3 Wochen bei der mikroskopischen Prüfung fast immer ein Bild wie das in Abb. 51 wiedergegebene. Die rundlichen Azotobakter-Zellen liegen teils außer- teils innerhalb der Protozoen-Leiber. Im Sommer geben die Azotobakter-Anhäufungs-Versuche oft nicht das erwartete Resultat, das sich dagegen während der kälteren Jahreszeit mit großer Regelmäßigkeit einstellt. Es scheinen eben — begünstigt durch die höhere Temperatur und die reichliche Vermehrung der Bakterien im Frühjahr — die Protozoen in den Monaten

Juli und August in unseren Böden die am meisten zusagenden Lebensbedingungen zu finden. Auch in solchen Sommern, in denen von einer etwaigen schädlichen Wirkung der Trockenheit nicht die Rede sein kann, zeigen infolgedessen die Erd-Bakterien oft einen sehr auffälligen Rückgang.

Für die Leistungen der Boden-Organismen sind diese Wechsel-Beziehungen zwischen Bakterien und Protozoen natürlich auch von Wichtigkeit. Das „Müde“-Werden des an Protozoen zu reich gewordenen Rieselfeldes erweist sehr deutlich die hohe Bedeutung eines regelrecht funktionierenden Bakterien-Bestandes. Inwiefern aber die Tätigkeit der Bakterien auf die Fruchtbarkeit des Bodens bestimmend einwirkt, das ist heute noch keineswegs so allgemein bekannt, wie es sein könnte und sein sollte.

Abb. 51. Azotobakter-fressende Protozoen (1000fach vergr.).

Unstreitig kann man im Experiment die Pflanzen in einer Nährlösung oder in sterilisiertem, mit einer Nährlösung getränktem Sande zu fast oder völlig normaler Entwicklung bringen. Es wäre aber ein erheblicher Irrtum, wollte man hieraus schließen, daß auch im Boden die Anwesenheit der Mikroorganismen ohne wesentliche Bedeutung sei. Denn hier müssen ja eben fast ausnahmslos die Nährstoffe, die in der Nährlösung in direkt aufnehmbarer Form dargeboten werden, erst in diesen Zustand übergehen, und das ist bekanntlich das Resultat der Tätigkeit von Bakterien und Pilzen. Die chemische Boden-Analyse gibt uns Auskunft über den insgesamt vorhandenen Vorrat an Nährstoffen, d. h. über den „Reichtum“ des Bodens. Mikrobiologische



Untersuchungen unterrichten uns über die „Tätigkeit“ im Boden. Der Boden-Reichtum wird durch diese Tätigkeit nutzbar gemacht. Die „Fruchtbarkeit“ des Feldes hängt also von beiden Faktoren ab. Weder die chemische noch die biologische Untersuchung allein liefert ein vollständiges Bild. Wie chemische, physikalische und biologische Momente das Leben in und auf dem Boden bedingen, so muß auch die Forschung zweifellos in allen drei Richtungen vorwärts schreiten, wenn ihre Ergebnisse wissenschaftlich einwandfrei und praktisch nutzbringend sein sollen. Das Leben der Erdorganismen hängt naturgemäß ab von den gegebenen chemischen und physikalischen Verhältnissen. Es wirkt aber seinerseits sehr wesentlich auf diese ein.

Da die allerverschiedenartigsten organischen Reste in den Boden gelangen, so treffen wir hier auch auf die mannigfaltigsten Leistungen aller möglichen Mikroben. Äußerst wechselvoll zusammengesetzte, einstweilen freilich nur erst teilweise bekannte Scharen von Lebewesen arbeiten mit- und gegeneinander. Sicherlich wird noch manches Jahr und Jahrzehnt vergehen, ehe auf diesem Gebiete die wünschenswerte Klarheit geschaffen sein wird, d. h. bis wir exakt feststellen können, wie es sich mit dem biologischen Charakter eines Bodens verhält und wie er eventuell zu ändern bzw. zu verbessern ist. Wohl kennen wir schon eine lange Reihe interessanter und auch praktisch wertvoller Tatsachen. Aber das Meiste bleibt noch zu tun.

Methodik der bakteriologischen Bodenforschung. Wie ich gelegentlich schon betont habe, hat die agrikultur-bakteriologische Forschung oft mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen. Am meisten gilt dies in bezug auf die Bakteriologie des Bodens. Ein großer Teil der erforderlichen Untersuchungen muß im Laboratorium unter Bedingungen durchgeführt werden, die von denen in der Natur gegebenen sehr weit abweichen. Selbstverständlich dürfen die dabei erlangten Resultate nicht ohne weiteres übertragen und verallgemeinert werden. Vielmehr sind allerhand Zwischen- und Hilfs-Experimente, vor allem aber die sachgemäße Nachprüfung der Ergebnisse auf dem Felde selbst in den meisten Fällen entweder ganz unentbehrlich oder doch entschieden nützlich. Die Verschiedenartigkeit der zu lösenden Aufgaben bedingt notwendigerweise eine analoge Vielgestaltigkeit der Untersuchungs-Verfahren. Da gerade hierüber — vornehmlich in Deutschland, aber auch anderwärts und speziell in landwirtschaftlichen Zeitschriften — schon recht viel hin und her geschrieben wurde, so will ich diesem eigentlich mehr internen Gegenstande ebenfalls einige Worte widmen. Denn der eine oder der andere wird doch vielleicht mitunter wünschen, die in den betreffenden Artikeln vorgetragenen Meinungen nicht nur gläubig hinzunehmen, sondern sich auch ein selbständiges, möglichst objektives Urteil über sie zu bilden.

Wollen wir über Zahl und Art der in dem betreffenden Boden vorhandenen Mikroben etwas erfahren, so stehen uns vier Hilfsmittel zur Verfügung: die direkte mikroskopische Prüfung, die Anfertigung von Gußkulturen, die Verwendung der Verdünnungs-Methode und die Anhäufungs-Versuche. Das Wichtigste über Anwendung und Brauchbarkeit dieser vier Methoden habe ich in der 7. Vorlesung mitgeteilt. Es bleibt nur noch hervorzuheben, daß die direkte mikroskopische Prüfung der Erde speziell bei Untersuchungen über den darin vorhandenen Protozoen-Bestand von Nutzen sein kann. Für Bakterien, Pilze und Algen sind Gußkulturen und Anhäufungsversuche, eventuell in Verbindung mit der Verdünnungs-Methode, meist viel geeigneter. Allerdings können sie vollständige und durchaus einwandfreie Resultate aus früher dargelegten Gründen nicht gewähren. Man hat übrigens auch schon vor Jahrzehnten, ähnlich wie später bei der Milch, versucht, die sogen. Katalase-Probe als Maßstab für das Leben im Boden zu verwenden. Wie aber in der Milch die katalytische Wirkung der Zell-Elemente diejenige der Mikroorganismen fast ganz verdeckt (s. S. 247), so machen auch im Boden Humusbestandteile und anorganische Katalysatoren einen so starken Einfluß geltend, daß ein Anhalt über Zahl und Art der vorhandenen Mikroben auf diesem Wege kaum oder gar nicht erreichbar ist.

Dagegen können die Anhäufungs-Versuche, auf denen sich fast alle unsere Kenntnisse über die im Boden vorkommenden Mikroben-Arten aufbauen, auch dann von Nutzen sein, wenn wir über die Leistungen der Erd-Bewohner Auskunft zu erlangen wünschen. Das Wesen der Anhäufungsversuche beruht ja eben darin, daß wir die Bedingungen (Ernährung, Temperatur, Luftzutritt usw.) im Experiment derart gestalten, daß aus dem bunten Arten-Gemisch, das sich in dem benutzten Impfmateriale (z. B. in der Erde) vorfindet, möglichst nur die Angehörigen einer bestimmten physiologischen Gruppe zur Entwicklung kommen können. Je nach der Versuchs-Anordnung häufen wir so die Eiweißzersetzer, die Harnstoffbakterien, die Salpeterbildner, die Denitrifikanten, die Stickstoff-Assimilanten oder irgend eine andere Mikroben-Gruppe nach Belieben an.

Verbinden wir die Anhäufungs-Versuche mit dem Verdünnungs-Verfahren, so können wir annähernd feststellen, ob die Angehörigen dieser oder jener Gruppe zahlreich oder spärlich in dem benutzten Impfmateriale vertreten sind.

Derartige Ermittlungen erschließen nicht uninteressante Einblicke. Z. B. fand W. MILLARD¹⁾ in einer Erde, die auf der Gelatineplatte etwa 50 Millionen Keime zur Entwicklung kommen ließ, pro g:

¹⁾ Centralblatt f. Bakt., II. Abt., Bd. 31, 1911, S. 502.

Peptonzersetzer . . .	75 000 000	Denitrifikanten . . .	162 500
Harnstoffzersetzer . . .	27 500 000	Stickstoff-bindende	
Nitrifikanten . . .	100 000	Mikroben . . .	2500 000

Die quantitative chemische Analyse gibt uns dagegen darüber Auskunft, ob die angehäuften Organismen mit einer hohen oder mit einer geringen Leistungsfähigkeit ausgestattet sind.

Daß diese Leistungsfähigkeit mit den für die betreffende physiologische Gruppe zu verschiedenen Zeiten sich ergebenden numerischen Werten ebensowohl parallel laufen, wie auch von ihnen sehr weit differieren kann, liegt auf der Hand. Die Zahl der tätigen Individuen ist eben sehr oft kein Maßstab für deren Wirksamkeit. Wie groß die Unterschiede mitunter sein können, lehren die folgenden Vergleichswerte. Im Januar und im Juli wurden in den Anhäufungsversuchen sowohl die Keim-Zahlen wie die Umsetzungswerte ermittelt¹⁾. Setzt man die Januar-Befunde jedesmal = 1, so resultieren für Juli:

	Ammoniak-Bildung aus Pepton	Salpeter- Bildung aus Harnstoff	Salpeter- Zersetzung	Stickstoff- bindung
Keimzahl . . .	1,25	1,0	0,3	1,0
Wirkung . . .	1,13	3,08	0,77	1,13

Diese quantitative Verwertung der Anhäufungs-Versuche ist zuerst von TH. REMY zu systematischen Untersuchungen über die biologischen Qualitäten verschiedener Böden benutzt worden. Sie figuriert deshalb in der Literatur oft als die REMYSche Methode. Von einigen Autoren sind in den letzten Jahren z. T. sehr absprechende Urteile über dieses Verfahren geäußert worden. Indessen läßt sich leicht nachweisen, daß sich diese Einwände in Wirklichkeit nicht gegen die Methode selbst richten, sondern lediglich gegen die Art, in der sie von den betreffenden Versuchs-Anstellern benutzt worden ist. Läßt man es bei der Anordnung der Experimente nicht an der nötigen Überlegung und bei der Deutung der Resultate nicht an einer vernünftigen Kritik fehlen, so kann man zweifellos zu sehr wertvollen Einblicken in die Tätigkeit der Erdorganismen kommen, die man auf anderem Wege nicht in gleicher Klarheit erlangen kann.

Dem direkten Vergleich der biologischen Qualitäten verschiedener Böden steht allerdings der Umstand erschwerend im Wege, daß die sich jeweils ergebenden Umsetzungs-Werte je nach der Jahreszeit, Witterung, Bearbeitung, Düngung, Nutzung des Bodens usw. bald größere, bald kleinere Schwankungen aufweisen. Die Kurven in Abb. 52 geben z. B. an, welche Umsetzungen in den stets in derselben Weise durchgeföhrten Anhäufungsversuchen vom Herbst 1903 bis Sommer 1904 eintraten, wenn die verschiedenen Lösungen mit Erde von ein und demselben Felde geimpft wurden²⁾. Daß die Intensität der verschiedenen Um-

¹⁾ LÖHNIS, Centralbl. f. Bakt., II. Abt., Bd. 14, 1905, S. 6.

²⁾ Die näheren Angaben über diese Untersuchungen veröffentlichte ich im 7. Heft der Mitteilungen des Landwirtschaftlichen Instituts der Universität Leipzig, 1905.

setzungen keine konstante Größe darstellen kann, bedarf übrigens doch kaum einer längeren Auseinandersetzung.

Im Anhäufungs-Versuch hat man es fast ausnahmslos noch mit Mischkulturen zu tun. Geht man von hier aus zur Züchtung und Prüfung von Reinkulturen über, so erhält man wichtige Anhaltspunkte über die ungleiche Leistungsfähigkeit der verschiedenen Arten und Rassen von Organismen. Die Vermischung der Reinkulturen kann

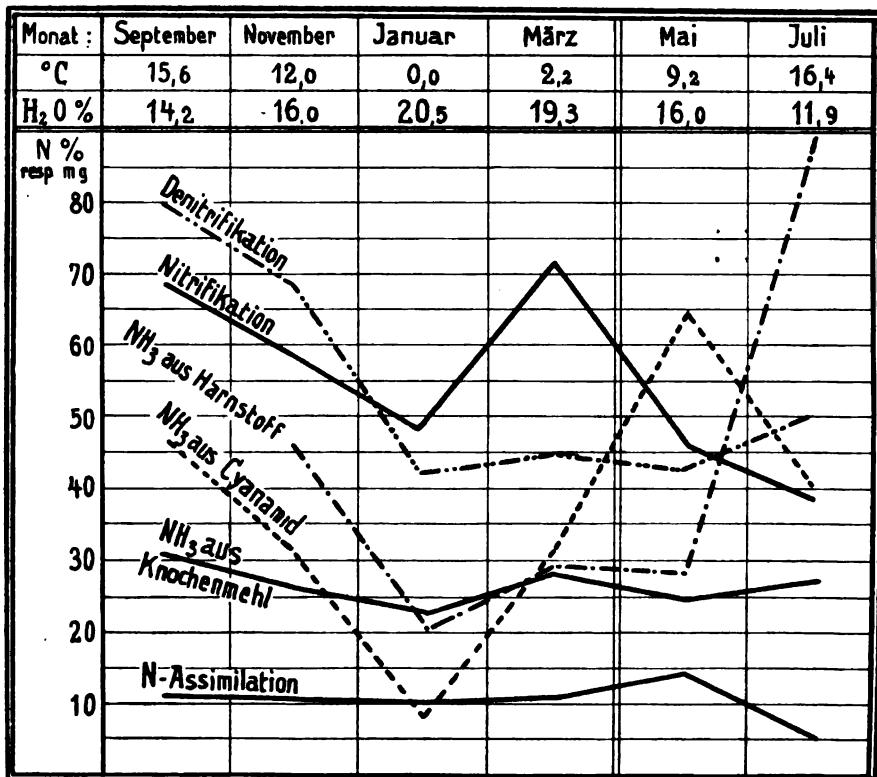


Abb. 52. Verlauf verschiedener Stickstoff-Umsetzungen in mit Erde geimpften Lösungen. September 1903 bis Juli 1904.

dann weitere Auskünfte über den Einfluß symbiotischen und antagonistischen Zusammenwirkens vermitteln.

Neuerdings ist mehrfach (besonders von denjenigen Autoren, die mit der REMYSchen Methode nichts Rechtes anzufangen wußten) behauptet worden, man könne oder man dürfe die Leistungen der Erd-Organismen nur in der Erde selbst prüfen. In der Tat haben schon vor etwa zwanzig Jahren speziell einige von französischen Autoren durchgeführte Untersuchungen gezeigt, daß für gewisse Fälle der Erd-

versuch recht wertvoll sein kann. Man wird sich seiner namentlich dann mit Vorteil bedienen, wenn Absorptionsvorgänge oder Wirkungen der Boden-Kolloide (wie bei der Cyanamid-Zersetzung) am Prozeß wesentlich mit beteiligt sind. Im übrigen ist es aber nicht zutreffend, wenn gesagt wird, die Bakterien-Tätigkeit spiele sich in der Erde in ganz anderer Weise ab als in den Nährösungen. Denn die Mikroben leben und wirken natürlich auch im Boden in der darin zirkulierenden Lösung. Vergleicht man die Salpeter-Umsetzung in mäßig durchfeuchterter, also reichlich durchlüfteter Erde mit dem entsprechenden Vorgang in einer in hoher Schicht aufbewahrten Flüssigkeit (also unter anaeroben Bedingungen), so müssen selbstverständlich die Resultate ungleich ausfallen — entsprechend den ungleichen Versuchsbedingungen. Wird die Höhe der Flüssigkeits-Schicht zweckentsprechend gewählt, so verläuft die Umsetzung in der Lösung genau wie in der Erde. In der 11. Vorlesung (auf Tafel VII, Fig. 2) zeigte ich, wie die gleiche Lösung unter aeroberen Bedingungen (wie die Erde) Nitrat-Assimilation, unter anaeroben Bedingungen aber Denitrifikation ergibt.

Auf Grund der Mitteilungen zweier amerikanischer Forscher (STEVENS und WITHERS) ist es vielen jetzt zum Axiom geworden, daß speziell den nitrifizierenden Bakterien die Lösung „ganz besonders feindlich“ sei. Indessen hat nicht nur WINOGRADSKY, der sich natürlich zur Anhäufung und Isolierung der Salpeterbildner ebenfalls der Lösung bedienen mußte, s. Z. erwiesen, daß die Umsetzung in Lösung wie in Erde gleich schnell verläuft, SCHLÖSING und MÜNTZ haben dasselbe schon vor ca. 30 Jahren festgestellt. Wenn man, wie STEVENS und WITHERS, die Lösung in hoher (statt in flacher) Schicht aufbewahrt, durch Zusatz von basischem Magnesiumkarbonat die Alkalinität übermäßig erhöht und dann noch durch zu hohe Konzentration und Erwärmung den Nitrifikanten in der anaeroben, stark ammoniakalischen Lösung das Leben unmöglich macht, dann muß man allerdings zu sehr sonderbaren Ergebnissen kommen.

Bei einwandfreier Versuchs-Anordnung geben die Anhäufungs- und die Erd-Versuche analoge Resultate. Während man aber dort jede einzelne Bedingung genau kontrollieren und nach Wunsch variieren kann, sind die Verhältnisse beim Erdversuch in der Regel weit weniger durchsichtig. Die Analysen sind nicht nur umständlicher, sondern meist auch weniger genau. Sehr störend wirkt ferner der Umstand, daß die Erde (wie übrigens auch der Stalldünger) nicht nur sehr schwierig zu sterilisieren ist, sondern dabei auch so tiefgreifend verändert wird, daß ein solches, noch dazu (aus analytischen Gründen) gewöhnlich mit relativ sehr großen Mengen von Bakterien-Nährstoffen versetztes Substrat von dem in natürlicher Lagerung befindlichen Boden recht weit differiert.

Weder der Lösungs- noch der Erd-Versuch kann demnach als den natürlichen Verhältnissen entsprechend angesehen werden. Der Anhäufungs-Versuch ist aber jedenfalls für die eigentliche bakteriologische

Forschung ganz unentbehrlich. Will man andererseits wissen, wie sich die Verhältnisse nun im Boden selbst abspielen, dann muß man eben die Laboratoriums-Versuche durch entsprechende Gefäß- und Feld-Versuche ergänzen und kontrollieren.

Mit je weniger Voreingenommenheit und mit je mehr Überlegung alle zur Verfügung stehenden Methoden und Hilfsmittel bei der Versuchsanstellung Verwendung finden, umso wertvoller werden natürlich auch die Resultate sein.

Beeinflussung der Mikro-Flora und -Fauna durch Bearbeitung, Düngung und Nutzung des Bodens. Da je nach der Bearbeitung, Düngung und Nutzung des Bodens dessen physikalische und chemische Qualitäten mannigfaltigen Änderungen unterliegen, so kann es nicht ausbleiben, daß auch die niederen pflanzlichen und tierischen Erd-Bewohner dadurch in Mitleidenschaft gezogen werden. Wie aber die Entwicklung der Nutzpflanzen in erster Linie immer von der Jahreszeit und der Witterung abhängig bleibt, so sind auch für die Mikro-Flora und -Fauna des Bodens diese beiden Faktoren in der Regel von größter Bedeutung. Ich führte schon an, daß die Zählungen oft ein Frühjahrs- und ein Herbst-Maximum erkennen lassen. Die Umsetzungs-Kurven liefern analoge Daten. Natürlich kann die jeweilige Jahreswitterung, ebenso wie die anderen Momente, Anlaß zu allerhand Ausnahmen von dieser Regel geben. An der Entwicklung unserer Nutzpflanzen müssen wir ja nur allzu oft sehen, wie sehr der Erfolg sämtlicher Maßnahmen bei der Bearbeitung, Düngung und Nutzung des Bodens von Jahreszeit und Witterung abhängig bleibt.

Die Zahl derjenigen Untersuchungen, in denen die verschiedenen Gruppen von Boden-Mikroben in den fraglichen Richtungen etwas eingehender geprüft worden sind, ist einstweilen noch sehr klein. Sehen wir zu, was aus ihnen zu entnehmen ist, und hoffen wir, daß bald mehr über diese jedenfalls nicht unwichtigen Fragen festgestellt werde.

Die Bearbeitung des Bodens kann für Leben und Tätigkeit der Bakterien, Pilze und Protozoen in vier Richtungen von Wichtigkeit sein. Der Luftzutritt, die Feuchtigkeit, die Temperatur und die Verteilung der Nährstoffe sowie der Mikroben werden durch die Bearbeitung des Bodens in verschiedener Art und in verschiedener Stärke beeinflußt.

Entgegen einer weit verbreiteten, und an sich auch sehr nahe-liegenden Vermutung ist die durch die Bearbeitung bewirkte Änderung des Luftzutrittes meist nicht von erheblicher Bedeutung. Selbst die sehr luftbedürftigen Salpeterbakterien nitrifizieren auch in ziemlich fest gelagerter Erde ganz normal, sofern nur die Durchfeuchtung und die Erwärmung des Bodens ihnen genügt. Da eine rationelle Boden-

bearbeitung in diesen beiden Richtungen ebenfalls fördernd wirkt, so ist allerdings oft eine Steigerung der Nitrifikation deren Folge, die aber, wie gesagt, mit der Verstärkung des Luftzutrittes nicht ohne weiteres in Zusammenhang zu bringen ist. SCHLÖSING hat schon vor 40 Jahren gezeigt, daß eine Herabsetzung der Sauerstoff-Spannung auf die Hälfte der normalen die Salpeter-Bildung nicht beeinträchtigt.

Auch die Förderung der Humus-Zersetzung und der Stickstoff-Bindung, die regelmäßig als Folge der Bodenlockerung zu konstatieren ist, kann nur teilweise der verstärkten Lüftung zugeschrieben werden. Daß die Denitrifikation und andere anaerobe Prozesse durch diese eingeschränkt oder völlig unterbunden werden, ist allerdings leicht einzusehen.

Die gründliche Verteilung und Mischung der Nährstoffe sowie der Mikroben, die jede intensive Boden-Bearbeitung mit sich bringt, übt meist einen entschieden günstigen Einfluß auf die Umsetzungen in der Ackererde aus. Zuweilen kann sie jedoch auch im entgegengesetzten Sinne wirken. Durch allzu häufige Bearbeitung kann man den Acker „tot“ pflügen, vor allem dann, wenn es sich um einen an Nährstoffen und Bakterien nicht sehr reichen Boden handelt. Ich erinnere an die oft äußerst nachteilige Wirkung des Heraufpflügens großer Mengen eines „toten“ Untergrundes, an die übermäßige Inanspruchnahme des Humusvorrates durch unzeitgemäße Bearbeitung speziell auf trockenen Feldern u. a. m. Wenn wir im Herbst die nicht bestellten Äcker nur einmal durchpflügen und jede weitergehende Bearbeitung vermeiden, so hat das gleichfalls seinen guten Grund. Stärkere Durchmischung würde die Nitrifikation lebhaft anregen. Die entstehenden Salpetermengen gerieten dann aber, namentlich während eines milden Winters, größtenteils in Verlust.

Besonders deutlich tritt die alle aëroben Prozesse begünstigende Wirkung der gründlichen Durchmischung der Erde dann hervor, wenn diese dem Felde entnommen und entweder in lockere Haufen aufgeschüttet oder in irgend welche Gefäße eingefüllt wird. Steigerungen der Umsetzungs-Intensität um das 10- und 20fache sind keine Seltenheit. Einige Zahlen-Beispiele hierzu gab ich bereits in der 5. Vorlesung (S. 76). Ebenso wächst die Keimzahl in frisch gefüllten Vegetationsgefäß in den ersten Tagen und Wochen oft ganz erstaunlich an, um später fast ebenso rapid wieder abzufallen.

Diese auf fast alle biologischen Verhältnisse geradezu revolutionierend wirkenden Folgen des Herauslösens kleinerer Erdmengen aus ihrem natürlichen Verbande müssen bei allen bodenbakteriologischen Studien ständig im Auge behalten werden. Die Erde, die wir im Laboratorium prüfen, zeigt eine ganz andere Tätigkeit als die im freien Felde.

Ist ein Boden an Nährstoffen und Mikroben sehr reich, so ist in größeren Abständen wiederkehrendes Tiefpflügen bekanntlich sehr von Vorteil. Fehlt es an Bakterien, so darf die Vertiefung nur allmählich und unter ausgiebiger Verwendung des bakterienreichen Stallmistes vorgenommen werden. Bei einem „toten“ Untergrunde ist die Verwendung des *Untergrund-Lockerers* ganz besonders am Platze. Wird dann der Ackerkrume mit dem *Furchenpacker* der nötige „Schluß“, d. h. diejenige Dichtigkeit gegeben, die das kapillare Aufsteigen der Untergrundsfeuchtigkeit sicherstellt, und wird weiterhin durch Eggen und Hacken für eine lockere Oberfläche gesorgt, die das Eindringen von Luft und Wärme begünstigt, die Wasser-Verdunstung aber hemmt, so schafft man nicht nur den Kulturgewächsen, sondern auch den nützlichen Bodenorganismen einen besonders zusagenden Standort.

In sehr vielen Fällen ist eine Bewässerung des Bodens von großem Nutzen. Sowohl die verschiedenen Phasen des Stickstoff-Abbaues wie auch die Stickstoff-Bindung werden meist sehr deutlich begünstigt. Nur allzu oft leiden wie die Nutzpflanzen so auch die Mikroorganismen des Bodens an Wasser Mangel. Der Landwirtschaft der Zukunft bleibt hier noch recht viel zu tun übrig.

Vorübergehendes Austrocknen der Erde übt auf die meisten Umsetzungen gleichfalls einen fördernden Einfluß aus. Der Grund ist, wie es scheint, vornehmlich darin zu suchen, daß ein großer Teil der Protozoen zum Absterben gebracht wird, die Bakterien also von ihren gefräßigen Verfolgern für einige Zeit befreit werden.

Wird durch die Boden-Bearbeitung zugleich in Gestalt von Ernte-Rückständen, Unkraut usw. neue Bakterien-Nahrung in den Boden gebracht, so wird dadurch naturgemäß ein besonders förderlicher Effekt ausgeübt.

Die Düngung wirkt, speziell soweit Stallmist und Gründünger in Frage kommen, in analoger Richtung. Dagegen werden die mineralischen Düngemittel z. T. insofern bedeutungsvoll, als sie nicht allein den Nährstoff-Vorrat erhöhen, sondern außerdem auch die Reaktion der Bodenflüssigkeit eventuell sehr stark beeinflussen.

Vor allem haben wir hier an die meist deutlich erkennbare Erhöhung der „Tätigkeit“ des Bodens bezw. der Erd-Organismen zu denken, die eine Kalkung in der Regel zur Folge hat. Namentlich die Überführung des Ammoniaks in Salpetersäure wird aus nahe liegenden Gründen stark begünstigt. Für die meisten Stickstoff-bindenden Bakterien gilt das gleiche. Hohe Ätzkalk-Gaben setzen mitunter den Keimgehalt in der ersten Zeit stark herab, später folgt dann eine um so lebhaftere Vermehrung. In Moor-Böden können übermäßige Kalk-

gaben gelegentlich dadurch sehr schädlich werden, daß sie zum Auftreten größerer Nitrit-Mengen sowie zu Stickstoff-Entbindungen Veranlassung geben. Eventuell kommt es auch bei dem beschleunigten Humus-Abbau zur Entstehung nachteilig wirkender organischer Zerfalls-Produkte.

Lange fortgesetzte Düngung mit Ammonsulfat führt, wenn dem nicht durch Kalkung rechtzeitig begegnet wird, zu einer sauren Reaktion des Bodens. Wie in den sauren Waldböden dominieren dann in solchen Feldern die Schimmelpilze über die Bakterien.

Andererseits wirkt der Chile-Salpeter eventuell durch die seinem Gehalt an Natron zuzuschreibende Verschlechterung der physikalischen Boden-Beschaffenheit mehr oder minder hemmend auf sämtliche Umsetzungen ein. Eine spezifisch deprimierende Wirkung scheint er auf die Stickstoff-Bindung auszuüben.

Die Kalisalze befördern, sofern sie als Karbonate zugegen sind, die Auflösung und damit die Zersetzung des Humus. In Verbindung mit Phosphaten sind sie für die Mikroben im Boden nicht minder wichtig wie für die angebauten Kultur-Gewächse. Wir wissen, daß die Asche der Bakterien auffallend reich ist an Phosphor und an Kali. Wenn wir die Leguminosen besonders ausgiebig mit Kali, Phosphorsäure und — soweit sie nicht kalkfeindlich sind — auch mit Kalk versorgen, so streben wir gerade (wenn auch vielleicht unbewußt) nicht zum wenigsten danach, zugleich die stickstoffbindende Tätigkeit der Knöllchenbakterien nach Möglichkeit anzuregen und zu fördern.

Da der Mineralstoff-Bedarf der landwirtschaftlich nützlichen Bodenbakterien ebenso hoch oder sogar noch etwas höher ist, als derjenige unserer Nutzpflanzen, so hat man auch schon mehrfach versucht, durch leicht ausführbare biologische Prüfungen der fraglichen Erde im Laboratorium deren Dünger-Bedürfnis festzustellen. Die wenigen bisher erlangten Resultate lassen selbstverständlich manches zu wünschen übrig. Immerhin sind weitere Bemühungen in dieser Richtung jedenfalls sehr angezeigt.

Stallmist und Gründünger sind durch ihren Reichtum an organischen Stoffen naturgemäß von besonderer Bedeutung. Der Mikroben-Reichtum des tierischen Düngers weist aber diesem, wie ich bereits dargelegt habe, eine ganz exzessionelle Stellung an. Über die ungleiche Wirkung des frischen und des gerotteten Stallmists habe ich gleichfalls das Wichtigste schon hervorgehoben. In Erinnerung des damals Gesagten werden wir auch leicht verstehen, weshalb die (an unzersetzen löslichen Kohlenstoff-Verbindungen) reichen Gründüngungs-Pflanzen bei der Unterbringung im Herbst oft nicht so günstig wirken, als wenn sie erst über Winter einer mäßigen Rottung ausgesetzt waren, bevor man sie (im Frühjahr) unterpflügt.

Inwiefern die Nutzung des Bodens die in ihm ablaufenden Umsetzungen beeinflußt, ist bisher nur sehr lückenhaft untersucht worden. Daß diese aber im allgemeinen in der Ackererde wesentlich anders verlaufen als in Wiesen- und Waldboden, das lehrt ja eigentlich schon der bloße Augenschein. Auch die bereits von den älteren Autoren vermuteten, dann aber längere Zeit in Abrede gestellten spezifischen Wurzelausscheidungen der verschiedenen Nutzpflanzen und Unkräuter sind, wie es scheint, für die jeweilige Gestaltung der Bodenflora von Wichtigkeit. Speziell die nächste Umgebung der Wurzeln, die sogen. Rhizosphäre, kann je nach der Pflanzenart gewisse charakteristische Züge der Mikroflora bedingen. So finden sich z. B. in der Nähe der Leguminosenwurzeln frei lebende stickstoffbindende Organismen, in erster Linie Azotobakter, besonders häufig. Daß gerade ein dichter Bestand an Klee und ähnlichen Gewächsen einen so hervorragend günstigen Einfluß auf den Boden des betreffenden Feldes ausübt, dürfte wohl wenigstens z. T. mit dieser Erscheinung in Zusammenhang zu bringen sein.

Die Verträglichkeit bzw. Unverträglichkeit sowie die gegenseitige Förderung, die auf den Erfolg beim Anbau der verschiedenen Kulturgewächse nicht selten von recht erheblicher Wichtigkeit sind, werden ihre volle Erklärung gleichfalls erst dann finden, wenn die mikrobiologischen Fragen mehr als bisher einer gründlichen Bearbeitung unterzogen worden sind. Dasselbe gilt in bezug auf gewisse Arten der Boden-Müdigkeit. In der 25. Vorlesung werde ich noch einiges hierzu mitteilen können.

Am meisten diskutiert wurde bisher die Frage, ob und wie man durch Nicht-Benutzung, d. h. durch Brach-Haltung des Feldes das Leben im Boden beeinflussen kann. Gerade zur Bearbeitung dieser Frage sind namentlich seitens der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft in ziemlich unüberlegter Weise sehr große Summen verausgabt worden, die weit nützlichere Verwendung hätten finden können. Denn es war von vornherein klar, daß die Brache an sich weder, wie manche behaupteten, die Gründüngung oder gar die Stallmist-Düngung ersetzen, noch auch irgend einen geheimnisvollen Einfluß auf die Stickstoff-Bindung im Boden ausüben kann. Die organischen Düngemittel bringen immer von neuem humusbildendes Material und andere Nährstoffe in den Boden. Die Brache bedingt dagegen einen verstärkten Abbau des bereits im Boden vorhandenen Vorrates an Humus und an sonstigen Nährstoffen. Andererseits ist es aber natürlich nicht minder verfehlt, sie deshalb schlechthin als „Raubbau“ zu bezeichnen. Wo es infolge der besonderen Eigenschaften des Bodens oder des Klimas nicht gelingt, durch die reguläre Bearbeitung und Düngung zwischen Ernte und Neu-

Ansaat dem Felde eine einwandfreie Beschaffenheit in physikalischer, chemischer und biologischer Hinsicht, d. h. also denjenigen Zustand zu verleihen, den der Praktiker Gare nennt, da ist die Brachhaltung in angemessenen Zeit-Abständen entschieden von Nutzen. Sie ist in solchen Fällen das einzige Mittel, um Höchst-Erträge zu erzielen. Wenn man aber ein beliebiges Stück Land dauernd unbebaut liegen läßt und es dabei entweder überhaupt nicht oder in einer in praxi nie vorkommenden Art und Weise bearbeitet, oder wenn man unter Verhältnissen, die überhaupt nicht für Brachhaltung sprechen, etwa alle zwei Jahre „Brache hält“, dann muß man allerdings zu sehr ungünstigen Resultaten gelangen. Aus solchen Befunden zu folgern: „Die Brache bedingt unter allen Umständen Raubbau“, ist indessen nichts weniger als logisch. Wollte man einem an sich schon sehr tätigen Acker immer weiter große Kalkmengen zuführen, so würde man zweifellos nicht nur keinen Nutzen, sondern eventuell einen erheblichen Schaden haben. Aber es wird doch deshalb niemand auf die absurde Idee kommen, die Kalkdüngung schlechthin als schädlich zu bezeichnen.

In der nächsten Vorlesung komme ich näher auf die Gare des Bodens zu sprechen und in der übernächsten auf die Frage nach der Bedeutung der Stickstoff-Bindung, die, wie gesagt, einerseits erheblich überschätzt, andererseits aber nicht minder unterschätzt worden ist.

24. Vorlesung.

Boden-Bakteriologie (Fortsetzung): Kohlenstoff-Umsatz. Humus und Gare. Abbau der stickstoffhaltigen Stoffe.

Kohlenstoff-Umsatz. In der 23. Vorlesung versuchte ich, einen allgemeinen Überblick zu geben über die Tätigkeit der Boden-Organismen und deren Abhängigkeit von der Bearbeitung, Düngung und Nutzung des Landes. Wir wollen nunmehr die verschiedenen in der Erde sich abspielenden Umsetzungen etwas näher ins Auge fassen, und zwar mag wiederum der Kohlenstoff-Umsatz den Vortritt haben. Wie in allen anderen Fällen üben auch im Boden Quantität und Qualität der vorhandenen Kohlenstoff-Verbindungen in der Regel auf die Umsetzungen des Stickstoffs den wichtigsten Einfluß aus.

Die Menge an organischer Substanz, die wir unseren Äckern einverleiben, ist recht bedeutend. In Form von Ernterückständen kommen gewöhnlich Jahr für Jahr 1000—4000, ausnahmsweise auch wohl 6000—8 000 kg Trockenmasse pro ha in den Boden. Eine mittelstarke Stallmist-Düngung führt jeder 1 ha großen Fläche ca. 10 000 kg organische Substanz zu. Gründüngung liefert je nach der Entwicklung 5000—10 000 kg. Alles in allem kann man demnach die in den Acker gelangenden Kohlenstoff-Verbindungen bei intensiver Wirtschaftsweise auf etwa 5000 kg pro ha und Jahr veranschlagen.

Aus diesen sehr verschiedenartigen Substanzen soll vorwiegend Kohlensäure und Humus werden. Selbstverständlich treten intermediär auch allerhand andere Verbindungen auf, so namentlich organische Säuren und Alkohole. In unvollkommen durchlüfteter Erde können sich diese Produkte anhäufen und zum Sauer-Werden solcher Böden beitragen. Das Auftreten von Methan und Wasserstoff in Sumpfland zeigt ebenfalls das Vorherrschende anaerober Prozesse an.

Im Gegensatz hierzu bedingt es die besonders starke Durchlüftung trockener Sandböden, daß der Kohlenstoff-Abbau unerwünscht rasch auf seiner letzten Stufe, d. h. bei der Kohlensäure-Produktion anlangt. Jeder Landwirt weiß, daß bei derartig rapiden Umsetzungen große Nährstoff-Verluste unvermeidlich sind. Der Kulturwert solchen

Landes ist kaum höher, eher niedriger als derjenige eines Bodens, in dem sich infolge mangelnden Luftzutritts saurer, schwer zersetzlicher Humus im Übermaße anhäuft.

Ein mäßiger Humusgehalt, wie wir ihn in den besonders fruchtbaren Gartenerden vorfinden, ist entschieden am günstigsten. In chemischer, physikalischer und biologischer Hinsicht ist er gleich wertvoll. Wird weiterhin der Kohlenstoff-Umsatz im Boden derart geleitet, daß stets rechtzeitig durch die Düngung für Ersatz des zur Zersetzung gelangenden Humus-Anteiles Sorge getragen wird, so ist die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit am besten gesichert.

5000 kg organische Substanz, die nach unseren Feststellungen bei intensiver Wirtschaftsweise pro ha und Jahr dem Boden zugeführt werden, erfüllen in der Regel diese Aufgabe. Das gleiche Quantum an Humus kann also unter dieser Voraussetzung alljährlich der endgültigen Zersetzung unterliegen. Nehmen wir der Einfachheit halber den Kohlenstoff-Gehalt dieser organischen Stoffe zu rund 50% an, so würden dann pro ha und Jahr ca. 9000 kg Kohlendioxyd zur Entstehung gelangen. Das Volumen dieser Gas-Menge beträgt reichlich 5000 cbm, d. h. auf die Fläche eines Hektars verteilt, würde das Gas einer zusammenhängenden Schicht von 50 cm Mächtigkeit entsprechen.

Es ist ohne weiteres klar, daß diese gewaltigen Kohlensäure-Mengen auf alle anderen, und speziell auf die früher erörterten mineralischen Umsetzungen im Boden von hervorragendem Einflusse sein müssen. Ihre Wirkung wird verstärkt durch die Kohlensäure-Produktion der Pflanzenwurzeln, die indessen, wie ich in der 5. Vorlesung (S. 71) bereits dargelegt habe, gegenüber der Atmungs-Kohlensäure der Mikroben meist wesentlich zurücktritt. Auch das hob ich schon bei anderer Gelegenheit (S. 184) hervor, daß diese aus dem Boden in die Luft übergehende Kohlensäure für die Deckung des Kohlenstoff-Bedarfes der grünen Gewächse von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist.

Verläuft die Kohlensäure-Bildung, z. B. nach einer Stallmist-Düngung, besonders lebhaft, so steigt der auf dieses Gas entfallende prozentische Anteil in der Bodenluft nicht selten auf 10, ausnahmsweise sogar auf 21% an, d. h. die Bedingungen werden halb oder ganz anaerob. Die Herabsetzung des Sauerstoff-Gehaltes der Luft um die Hälfte übt bekanntlich auf die Salpeter-Bildung noch kaum irgend einen störenden Einfluß aus (s. S. 343). Mit der Kohlensäure-Bildung verhält es sich gewöhnlich analog. Ausnahmsweise ist sie sogar bei Luftabschluß etwas stärker als bei Luftzutritt. Daß im übrigen die Erhöhung der Bodenfeuchtigkeit und die Steigerung der Erdtemperatur innerhalb gewisser Grenzen die Atmungstätigkeit der Boden-Mikroben, und infolgedessen die Kohlensäure-Produktion sehr erheblich beschleunigen bzw.

verstärken kann, brauche ich wohl nicht durch besondere Zahlenreihen zu belegen. Gerade diese Frage ist allerdings sehr ausgiebig bearbeitet worden.

Naturgemäß lag es nahe, die Intensität der Kohlensäure-Produktion als Maßstab für die Abschätzung des Lebens im Boden zu verwenden. Eine minimale Kohlensäure-Bildung pflegt zwar auch in sterilisierter Erde als Resultat chemischer Umsetzungen wahrnehmbar zu sein. Diese Quantitäten sind indessen so verschwindend gering, daß ihnen praktisch kaum irgendwelche Bedeutung beizumessen ist. Weit störender wirkt dagegen der Umstand, daß die mit der Entnahme der Bodenproben verbundenen tiefgreifenden Änderungen in dem physikalischen und biologischen Zustande der betreffenden Erde zu oft ganz abnormen, einander nicht selten geradezu widersprechenden Ergebnissen führen. Eine bessere Durcharbeitung und Vervollkommnung unserer Untersuchungs-Methoden ist in dieser Richtung besonders wünschenswert. Daß manche Erdbewohner zugleich Kohlensäure-assimilierend wirken, kann bei derartigen, generellen Abschätzungen natürlich sehr wohl vernachlässigt werden. Die fraglichen Werte sind ja höchst unbedeutend (s. S. 185).

Die Substanzen, die im Boden zur Zersetzung kommen, unterliegen bekanntlich in mehr oder minder ungleichem Grade der vollständigen Zertrümmerung. Manche von ihnen, wie die Torfstreu, das Stroh und die festen Exkremeanteile, werden deshalb herkömmlicher Weise als schwer-, andere, z. B. junge, grüne Pflanzenteile, als leichtzersetzlich bezeichnet. In dem einen Falle überwiegt die Humifizierung, im andern die Kohlensäure-Bildung.

Einige vergleichende Versuche¹⁾, bei denen jedesmal 500 g Erde mit je 10 g Kohlenstoff in Gestalt der nachstehend genannten Substanzen vermischt wurde und in denen man dann 21 Tage lang bei mäßiger Lüftung die Kohlensäure-Produktion bestimmte, ergaben folgenden Kohlenstoff-Umsatz (in % des Anfangsgewichts):

Rotklee	59,69	Eichenlaub	17,70
Glukose	42,14	Weizenstroh	14,54
Stärke	29,00	Zellulose	11,77

Wird die Menge der organischen Substanz weniger hoch bemessen, so wächst, wie gewöhnlich, die Umsetzungs-Intensität. Z. B. verschwanden in einigen von C. MÜTTERLEIN²⁾ durchgeführten Experimenten von der Zellulose, von der hier nur $\frac{1}{2}$ % des Erdgewichts verwendet wurde, innerhalb eines Monats 70—100 %.

Die alljährlich in den Boden gelangenden organischen Massen entsprechen in den zuvor berechneten Quantitäten nur ca. 0,1 % des Erdgewichtes. Da sie gleichwohl erfahrungsgemäß unter unseren klimatischen Verhältnissen einen ausreichenden Ersatz für den der Zersetzung unterliegenden Humus-Anteil darstellen, so müssen wir aus diesem Vergleich wiederum entnehmen, wie außerordentlich abweichend sich die Ergebnisse bei Versuchen kleinen Maßstabes darstellen können.

¹⁾ J. DVOŘÁK, Zeitschrift f. d. landw. Versuchs-Wesen in Österreich, Bd. 15, 1912, S. 1097.

²⁾ Studien über die Zersetzung der Zellulose usw., Diss. phil. Leipzig 1913, S. 96.

Daß die Zellulose, die in der Regel in den Düngemitteln tierischer wie pflanzlicher Herkunft in größter Menge anzutreffen ist, durchaus nicht, wie früher gewöhnlich angenommen wurde, nur durch anaërope Organismen zersetzt wird, habe ich (S. 173) dargelegt. Wären diese in der Tat von so großer Bedeutung, wie man längere Zeit geglaubt hat, so müßte ja schon bei der Rottung des Stalldüngers die Zellulose vollständig vergoren werden. Das ist indessen, wie wir wissen, nicht der Fall. Und man kann sich auch leicht davon überzeugen, daß in der Erde die aëroben Zellulose-Zersetzer oft viel stärker tätig sind als ihre anaëroben Konkurrenten. Abb. 53 zeigt uns das Bild zweier Scheiben Filtrierpapier, von denen die eine (a) an der Erdoberfläche, die andere (b) ca. 20 cm unter der Erdoberfläche bei voller Sättigung der Wasser-Kapazität des betreffenden Bodens gleichlange Zeit der Zersetzung über-

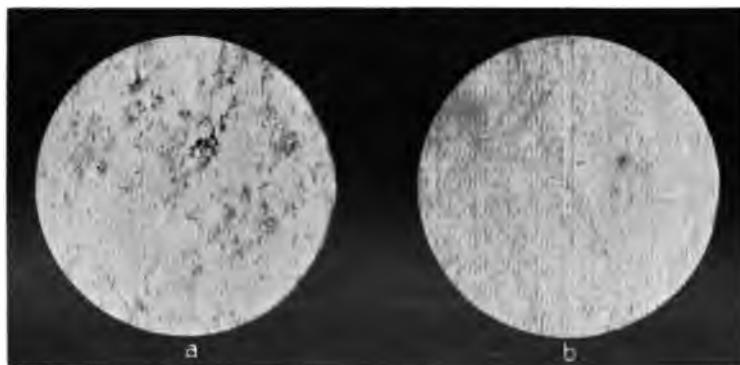


Abb. 53. Aërob und anaërob zersetzes Papier ($\frac{2}{3}$ nat. Gr.).
a von der Erdoberfläche, b aus 20 cm Tiefe.

lassen blieb. Bei vollem Luftzutritt hat die Zerstörung des Papiers größere Fortschritte gemacht, zugleich ist es stellenweise zur Bildung humusartiger Stoffe gekommen.

Humus und Gare. Solange man der Ansicht war, die Zellulose-Zersetzung sei stets das Werk anaërober Mikroben, wurde meist auch in Abrede gestellt, daß diese Substanz humifiziert werden kann. Wir wissen jetzt, daß dies recht wohl möglich ist. Speziell die dunkel gefärbten, Zellulose zersetzenen Pilze verleihen dem Papier, Stroh usw. ein durchaus Humus-artiges Aussehen (s. Taf. VIII, Fig. 2).

Über die Eigenschaften, die Bildung und die Zersetzung der Humusstoffe ist, wie ich in der 12. Vorlesung darlegte und begründete, leider einstweilen noch recht wenig bekannt. Die allgemein gültigen Tatsachen habe ich damals schon mitgeteilt. Es bleiben nunmehr noch einige speziellere Einzelheiten zu erörtern.

Schon A. THAER und seine Zeitgenossen unterschieden ganz richtig: 1. den „milden“ Humus, wie er in der fruchtbaren Garten- und Ackererde vorkommt, 2. den „sauren“ Humus in Sumpf und Moor und 3. den „adstringierenden“ Humus, der namentlich aus der Wald- und Heide-Streu entsteht. Sowohl der milde wie der adstringierende Humus entsteht bei Luftzutritt, der saure unter Luftabschluß. Da die meisten Pflanzenteile von vornherein sauer reagieren, und unter anaeroben Bedingungen die Bildung der organischen Säuren den größten Umfang annimmt, so ist die zuletzt genannte Tatsache ohne weiteres verständlich. Der milde Humus verdankt seine Eigenschaften einerseits der bei Luftzutritt stattfindenden Oxydation der primär vorhandenen bezw. entstehenden Säuren, andererseits der Sättigung seines Absorptions-Vermögens durch Basen und zwar vornehmlich durch Kalk. Für den adstringierenden (tinten-artig riechenden und schmeckenden) Humus ist der relativ hohe Gehalt an Gerbstoffen und die unvollständige Sättigung des Absorptions-Vermögens charakteristisch.

Der Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff stellt selbstverständlich durchaus keine konstante Größe dar. Immerhin ergeben sich aus den bereits in ziemlich großer Zahl vorliegenden Analysen von Humus-, Torf- und Kohle-Proben gewisse beachtenswerte Gesetzmäßigkeiten. Meist wurden (in abgerundeten Zahlen) folgende Werte festgestellt.

Je 100 Teile aschenfreie Trockensubstanz enthielten:

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff	Stickstoff
Acker-Humus . . .	35—50	6—8	35—50	3—8
Moor-Humus . . .	50—60	5—6	28—45	1—4
Braunkohle . . .	55—75	3—6	20—40	0,5—1,0
Steinkohle . . .	75—95	0,5—5	0—20	0,1—0,8

Der Kohlenstoff-Gehalt steigt allmählich an; Wasserstoff, Sauerstoff und der für uns besonders wichtige Stickstoff zeigen deutlich eine sinkende Tendenz. Besonders bemerkenswert ist, daß der milde Humus der Ackererde mitunter noch niedrigere Kohlenstoff-Prozente aufweisen kann als die Kohlenhydrate. Da er außerdem relativ reich an Stickstoff ist und neutral reagiert, so ist seine leichte Zersetzunglichkeit unschwer verständlich. Übrigens kann der Stickstoffgehalt unter Umständen weit höher ansteigen, als ich in der tabellarischen Zusammenstellung angab. Speziell in regenarmen Gebieten hat man Werte von 10—19% gefunden. Der Humus aus Niederungsmooren pflegt stickstoffreicher zu sein als der Hochmoor-Torf, dessen Stickstoff-Gehalt 2% selten übersteigt.

In bezug auf die Zersetzung der Humusstoffe hat sich bei Dauer-Versuchen in Übereinstimmung mit unseren bisherigen Annahmen herausgestellt, daß in der Ackererde jährlich ca. 5% des Vorrates an Kohlenstoff-Verbindungen zum Abbau gelangen, d. h. bei einem Humus-

gehalt von 2,5% rund 5000 kg pro ha und Jahr. Speziell zu beachten ist, daß der Kohlenstoff-Abbau in der Regel dem Stickstoff-Abbau vorausseilt. Infolgedessen ist der (ältere) Humus in den tiefen Erdlagen oft wesentlich stickstoffreicher als das (jüngere) Material in den oberen Schichten. Aus Versuchen großen Maßstabes ist zu ersehen, daß etwa 1—1 $\frac{1}{2}$, selten mehr als 2% des Vorrates an Bodenstickstoff im Laufe eines Jahres nitrifiziert werden. Bei der Prüfung kleiner Erdmengen steigt diese Zahl allerdings oft auf 5% und mehr, doch wird auch hier die Intensität des Kohlenstoff-Umsatzes nicht erreicht.

Naturgemäß ist schon je nach der Entstehungsweise die Zersetzungsfähigkeit des Humusstickstoffes nicht immer gleich. In manchen Böden wurde der Stickstoff überwiegend in eiweißartiger Bindung angetroffen, in anderen mehr in Amidform. Je weiter aber die Zersetzung fortschreitet, je älter also das betreffende Material ist, umso resistenter Körper bleiben zurück. Worin deren Schwerzersetzung begründet ist, kann vorläufig, mangels entsprechender Untersuchungen, nicht gesagt werden. Vermutlich sind einerseits die z. T. äußerst widerstandsfähigen Reste der Erd-Organismen in Rechnung zu ziehen, andererseits aber sehr feste Bindungen von Ammoniak, vielleicht auch von anderen Stickstoff-Verbindungen, mit mineralischen, dem Humus adsorptiv beigemischten Mineralsubstanzen. In manchen tropischen Böden, speziell in der sogen. Laterit-Erde, spielen derartige, ungemein schwierig nitrifizierbare mineralische Stickstoff-Verbindungen eine besonders wichtige Rolle.

Sofern es sich um adsorptiv ungesättigte, also sauer reagierende Humussubstanzen handelt, ist die Zuführung ausreichender Kalkmengen selbstverständlich erstes Erfordernis zur Einleitung einer normalen Zersetzung. Weiterhin sind naturgemäß auch die etwa intermediär entstehenden Säuren der Neutralisation bedürftig. Zu viel Kalk kann allerdings, wie die bei der Hochmoorkultur gesammelten Erfahrungen gelehrt haben, mitunter höchst schädlich wirken. Sowohl die Kohlenstoff- wie namentlich auch die Stickstoff-Verbindungen können unter diesen Bedingungen abnorme Umsetzungen erleiden, die für die Kulturgewächse eventuell sehr nachteilige Folgen nach sich ziehen.

Im übrigen sind aber, wie ich schon angedeutet habe, ein ausreichender Vorrat an mildem Humus und dessen durch die Bearbeitung und Düngung des Bodens entsprechend geregelte allmähliche Zersetzung für die Gare des Ackers durchaus unentbehrlich. Dieser gegenwärtig nicht immer genügend gewürdigte Zustand des Feldes ist erfahrungsgemäß für die Sicherheit und Höhe der Erträge entschieden von großer Bedeutung. Wenn der praktische Landwirt sagt, der Boden soll „gar“ sein, ehe man ihn bestellt, so denkt er dabei wohl weniger — wie

mehrfach in der Literatur angegeben wird — an eine wirkliche „Gärung“ im Boden, als vielmehr daran, daß wie das „gar“ gekochte Fleisch als Speise, so der „gare“ Acker zur Aufnahme der Saat und zur Ernährung der jungen Pflanzen wohl vorbereitet ist. Deshalb redet man auch von „ungaren“ Speisen und vom „ungaren“ Boden. Daß allerdings in der Erde, bevor sie „gar“ wird, lebhafte Umsetzungen, „Gärungen“ vor sich gehen, das ist einem aufmerksamen Beobachter wohl nie entgangen. Die eigenartige, mürbe und elastische Beschaffenheit, die der Boden zu dieser Zeit annimmt und die dem darüberhin schreitenden Fuße ja so deutlich anzeigt, daß das Land in den erwünschten Zustand eintritt, weist entschieden in diese Richtung. In der Literatur ist es denn auch oft wiederholt worden, daß der Boden durch einen Gärungsprozeß gelockert und aufgetrieben werde, wie der Brotteig durch die Hefe. Speziell die bekanntlich sehr großen Kohlensäure-Mengen, die bei der Zersetzung des Humus frei werden, wurden hierfür verantwortlich gemacht. Das ist indessen ein Irrtum, auf dessen immer erneutes Abschreiben man endlich verzichten sollte. Wir dürfen uns nicht dadurch täuschen lassen, daß die entstehende Kohlensäure, wie ich vorgerechnet habe, einen ebenso großen oder noch größeren Raum einnimmt als die gesamte Ackerkrume. Denn die anaerob entstehenden Kohlensäure-Mengen sind im Boden meist nicht sehr groß. Bei der aëroben Kohlensäure-Produktion wird aber für je ein Raumteil Kohlensäure ein Raumteil Sauerstoff verbraucht, d. h. die Gasmenge bleibt gleich, oder sie wird, da die Kohlensäure leichter vom Wasser aufgenommen wird als der Sauerstoff, sogar kleiner. Die ebenfalls recht ansehnlichen Kohlensäure-Quantitäten, die z. B. von den Getreide-Wurzeln ausgeatmet werden, bleiben auf die Struktur des Bodens ja auch ohne jeden Einfluß.

Die Lockerung und Mürbung des Bodens ist also nicht der direkten Einwirkung der Kohlensäure, sondern verschiedenen anderen Faktoren zuzuschreiben. An erster Stelle kommt selbstverständlich die Bodenbearbeitung in Frage und an zweiter die Änderung der Erdkolloide durch das zeitweilige Austrocknen, sowie eventuell durch den Frost. Daß aber auch das Ruhenlassen des Ackers, wie es die Brache besonders deutlich zeigt, für die Erzielung der Gare von großer Wichtigkeit ist, weist unverkennbar auf die Mitarbeit der Erdorganismen hin. Bakterien und Pilze bringen den Humus zum Schwinden und rufen infolgedessen eine poröse Struktur der Erde hervor. In manchen Erden, so speziell in der Schwarzerde, ist die Entwicklung der Schimmelpilze nicht selten so stark, daß diese direkt durch Umspinnen der Erdteilchen zu einer Krümelung des Bodens Veranlassung geben. Vor allem haben wir aber hier auch der tierischen Boden-

bewohner zu gedenken, von denen namentlich Würmer und Insekten bei der Boden-Bewegung Erstaunliches leisten können. Daß schließlich auch die Atmungs-Kohlensäure aller dieser Bodenbewohner in verschiedenen Richtungen durch Lösung und Ausflockung an der Änderung der physikalischen Erd-Beschaffenheit mitwirken kann, darf gleichfalls nicht übersehen werden.

Mit der verstärkten Humus-Zersetzung geht eine lebhafte Nitrifizierung des Bodenstickstoffes Hand in Hand. Andererseits ermöglicht der gesteigerte Kohlenstoff-Umsatz eine vermehrte Bindung des elementaren Stickstoffes. Daß aber auch die mineralischen Nährstoffe, vor allem Kali, Phosphorsäure und Kalk im garen Boden in größeren Quantitäten in löslicher Form vorhanden sind, folgt aus der erhöhten Produktion resp. Wirkung der Kohlensäure.

Ich glaube, wir können also mit Recht die Gare des Ackers — wie ich es bereits in der voraufgegangenen Vorlesung tat — definieren als den in physikalischer, chemischer und biologischer Hinsicht optimalen Zustand des Bodens. Mit Rücksicht auf die mannigfachen Umsetzungen und Änderungen der Erd-Beschaffenheit könnte man eventuell geradezu von einer „Reifung“ des Bodens sprechen. Erst wenn diese erreicht ist, kann das Land der jungen Saat von neuem die günstigsten Existenz-Bedingungen darbieten. Daß sich die Gare in den meisten Fällen mit den uns gegenwärtig zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln in der Zeit zwischen Ernte und Bestellung in normaler Weise erreichen läßt, ist eine tausendfach bestätigte Erfahrung. Ist aber der Boden zu schwer und das Klima zu ungünstig, infolgedessen der Kohlenstoff- und der Stickstoff-Umsatz zu gering und die Struktur des Ackers dauernd sehr mangelhaft, dann wird sich eine in angemessenen Abständen eingeschaltete Brache, wie gesagt, entgegen jenem törichten Schlagwort nicht als „Raubbau“, sondern als eine sehr vorteilhafte Kulturmaßnahme erweisen.

Abbau der stickstoffhaltigen Stoffe. Wenn wir Stallmist, Gründünger oder organische Düngemittel des Handels (Fleischmehl, Blutmehl usw.) auf das Feld bringen, so führen wir, genau genommen, nicht den Nutzpflanzen Nährstoffe zu, sondern wir versorgen die Boden-Organismen mit Material zur Fortführung ihres Stoff- und Kraftwechsels. Erst die Endprodukte dieser Umsetzungen, gewissermaßen die Abfall-Produkte des Stoffwechsels der Bakterien, stellen die Nahrung unserer Kulturgewächse dar. Weil es sich hierbei stets zunächst um die Leistungen der Erd-Mikroben handelt, deshalb ist auch die düngende Wirkung dieser Stoffe nicht selten so ungleich. Bekanntlich hat man es bisher noch fast gar nicht für nötig befunden, diese wichtigen Fragen einer angemessenen wissenschaftlichen Behandlung zu unterziehen. Statt dessen hat man aus ganz verschiedenartigen,

überhaupt nicht miteinander vergleichbaren Ergebnissen rein empirischer Düngungsversuche „Mittelwerte“ errechnet, deren Wert oder, richtiger gesagt, Unwert ich bei früherer Gelegenheit (S. 312) glaube bereits hinreichend gekennzeichnet zu haben.

Desgleichen haben wir das vor allem Wissenswerte über Verlauf und Ursachen der hier in Frage kommenden Umsetzungen schon in der 10. Vorlesung kennen gelernt. Es bleibt mir somit nur noch übrig, einige weitere Angaben in bezug auf die Bildung von Ammoniak aus den verschiedenen organischen Stickstoff-Düngern sowie über die Nitrifikation hinzuzufügen.

Die Ammonifikation der im Stallmist enthaltenen Stickstoff-Verbindungen verläuft sehr ungleich. Daß die Stickstoff-Ausnutzung innerhalb sehr weiter Grenzen schwankt, kann sowohl von der differenten Qualität des Düngers wie von dem ungleichen Verlauf der Umsetzungen in den verschiedenen Böden abhängen. Das Kot-Stroh-Gemisch ist, wie ich dargelegt habe, zwar als Bakterienträger und Humus-lieferndes Material von großem Werte; die in ihm enthaltenen Stickstoff-Verbindungen sind jedoch zum allergrößten Teile nur sehr schwer abbaufähig. Werden im Laufe des ersten Jahres 10 oder 20% ammonifiziert, so sind das schon recht gute Ergebnisse. In den flüssigen Ausscheidungen geht dagegen die Ammoniakbildung so rasch von statten, daß sie wohl fast ausnahmslos bereits vor dem Ausbringen der Jauche beendet ist. Da diese Umsetzung an sich restlos verläuft, so wird man, wenn Ammoniak-Verluste sorgfältig vermieden werden, bei rationeller Verwendung dieses Düngemittels ebenso gute Stickstoff-Wirkungen erwarten dürfen, wie bei einer Salpeter-Düngung. Und das ist in der Tat in zahlreichen Versuchen bestätigt worden. Unbedingt notwendig ist allerdings, daß die Jauche sofort nach dem Ausbringen gründlich mit dem Boden vermischt wird. Auf leichtem Boden wird man am besten gleich nach der Düngung auf etwa 20—25 cm Tiefe pflügen. Wird diese Regel nicht befolgt, so muß namentlich immer dann mit eventuell recht beträchtlichen Verlusten durch Ammoniak-Verdunstung gerechnet werden, wenn nicht durch einen ausreichenden Säure-Zusatz der Verflüchtigung des Ammoniaks vorgebeugt worden war (s. S. 332).

Wie außerordentlich verschieden sich der Stickstoff-Abbau gestalten kann, je nachdem der Dünger im frischen oder im gerotteten Zustande dem Boden einverleibt wird, mag noch durch einige besonders interessante Zahlen erläutert sein, die sich bei den von J. H. SMITH auf meine Veranlassung hin vorgenommenen Untersuchungen ergaben. Von einem harnfreien und einem harnhaltigen Kot-Stroh-Gemisch wurden gleich viel Stickstoff enthaltende Proben teils sogleich, teils nach 1-, 2- und 4wöchiger Lagerung, mit Erde (von gleichartiger Beschaffenheit) vermischt. Nach Verlauf von 6 Wochen fanden sich nach Abzug der in der ungedüngten Erde vorhandenen Quantitäten folgende Mengen an Nitrat-Stickstoff (berechnet in % des zugesetzten Dünger-Stickstoffs, unter Fortlassung der Dezimalstellen):

Erde mit	frisch	1	2	4 Wochen gelagert
Kot + Stroh	2	6	21	31
Kot + Stroh + Harn . .	7	83	58	75

Der Stickstoff im mäßig gerotteten Dünger wurde also weit besser nitrifiziert. Daß die Zahlen im ganzen verhältnismäßig sehr hoch sind, dürfte vorwiegend auf die Beschleunigung aller Umsetzungen in derartigen Erd-Versuchen zurückzuführen sein. Möglich ist es allerdings, daß auch der Humus-Stickstoff in der gedüngten Erde etwas stärker abgebaut wurde, als in der nicht gedüngten.

Die Umsetzung und Ausnutzung des Gründünger-Stickstoffes ist gleichfalls oft recht verschieden. Schwankungen zwischen 15—85 % sind mehrfach beobachtet worden. Und man wird sich mit Recht auch hier nicht damit zufrieden erklären, wenn man hört, daß „im Mittel“ 20—40 % des Stickstoffes in der Ernte wieder gewonnen wurden. Neben der Mikroflora des betreffenden Bodens kommt naturgemäß die jeweilige Beschaffenheit des zum Unterpflügen bestimmten Materials wiederum sehr wesentlich in Betracht. Namentlich scheint auch dessen Gehalt an stickstoffreien Verbindungen eine viel größere Bedeutung beizukommen, als man ihm bisher allgemein zuerkannt hat. Daß die erst im Frühjahr untergepflügten Pflanzen oft besser wirken, als solche, die im vollsaftigen Zustande in den Boden gebracht werden, dürfte wohl mit der Rottung in Zusammenhang zu bringen sein, die sie über Winter erfahren haben. Offenbar spielen hier ähnliche Momente eine Rolle, wie bei der Verwendung des frischen bzw. des gerotteten Stallmistes. Leider fehlt es einstweilen noch gänzlich an entsprechenden Untersuchungen.

In bezug auf die Erklärung der differenten Wirkung der verschiedenen organischen Stickstoffdünger des Handels bleibt gleichfalls noch fast alles zu tun. Die abweichende Beschaffenheit der verschiedenen Sorten von Fleischmehl, Blutmehl, Hornmehl usw. und die ungleiche Wirkung der in den verschiedenen Böden tätigen Organismen bedingen wiederum gemeinsam die differenten Ergebnisse. Wie ich in der 23. Vorlesung zeigte, können wir (nach REMYS Vorschlag) durch eine entsprechende „Leistungs-Prüfung“ die Wirksamkeit der in dem zu düngenden Felde vorhandenen Ammoniakbildner unschwer bestimmen. Nach den in Abb. 52 (S. 340) wiedergegebenen Kurven wurden in dem betreffenden Falle durch die im Mai dem Felde entnommenen Erdproben, bzw. durch die darin vorhandenen Bakterien, 25 % des Knochenmehl- und 65 % des Cyanamid-Stickstoffs ammonifiziert. Die Stickstoff-Ausnutzung in dem zugehörigen Düngungsversuch belief sich auf 25,3 % des Knochenmehl- und 61 % des Cyanamid-Stickstoffs. Zweifellos werden derartige Untersuchungen in Zukunft noch eine große Zahl wissenschaftlich wie praktisch gleich wertvoller Resultate zutage fördern. Mit ihrer Hilfe wird die Düngerlehre in vielen Punkten die vorläufig noch fehlende wissenschaftliche Ausgestaltung erhalten können.

Speziell bei der Einführung des neuesten organischen Stickstoffdüngers, des sogen. Kalkstickstoffes, oder richtiger des technischen Calciumcyanamides, hat es sich deutlich gezeigt, wie viel richtiger und besser es ist, ein solches neu auftauchendes Problem nach wissenschaftlichen Grundsätzen zu bearbeiten als nach der Methode der sogen. „Normal-Werte“. Es ließ sich leicht nachweisen, daß auch hier die Ammoniakbildung dem Eingreifen von Bakterien zu verdanken ist, die bei ungestörter Tätigkeit diese Umsetzung so gut wie restlos besorgen. Weiterhin stellte sich dann aber heraus, daß der Bakterien-Tätigkeit eine durch Bodenkolloide veranlaßte Umwandlung des Cyanamides in Harnstoff vorausgehen muß (s. S. 151). Unstreitig würde das neue Düngemittel heute schon weit größeren Anklang gefunden haben, wenn durch ausgedehntere Anwendung der Umsetzungs-Versuche in den Laboratorien der Versuchsstationen die Landwirte besser darüber unterrichtet worden wären, auf welchen Böden das Cyanamid mit Vorteil zu verwenden sei und wo nicht. Daß im allgemeinen die an Kolloiden armen Sandböden und die an Bakterien armen Moorböden für diese Art der Düngung wenig dankbar sein mußten, lehrten jene Untersuchungen von vornherein. Zugleich zeigten sie, daß in beiden Fällen eine Vermischung des Düngemittels mit kolloid- und bakterienreichem Kompost von wesentlichem Nutzen sein kann. —

Zahlreiche Versuche haben gelehrt, daß für alle grünen Gewächse die Ammonsalze eine fast ebenso gute Stickstoffquelle darstellen können wie die Nitrate. Gewisse Pflanzen, vor allem der Reis, geben sogar dem Ammoniak unstreitig den Vorzug. Es ist indessen nicht richtig, wenn man aus diesen Tatsachen den Schluß zieht, die Nitrifikation des Ammon-Stickstoffes sei überflüssig, oder sogar nachteilig, weil sie die leicht absorbierbare und deshalb vor der Versickerung geschützte Stickstoff-Verbindung in eine leicht lösliche und infolgedessen auch leicht in Verlust geratende Substanz verwandelt. In absorptionsschwachen, kalkhaltigen Böden würden beim Ausbleiben der Nitrifikation empfindliche Schädigungen der Wurzeln durch das ätzend wirkende Ammonkarbonat unausbleiblich sein. Andererseits leidet ein kalkarmer Boden nur allzu oft unter der physiologisch-sauren Natur des Ammonsulfates. Mit beiden Eventualitäten steht es auch in Zusammenhang, daß bei nicht wenigen Experimenten der Ammon-Stickstoff (im sterilisierten Substrat) gegenüber dem Nitrat-Stickstoff merklich zurückgestanden hat. Und fast alle Gefäß- und Feld-Versuche lassen deutlich erkennen, daß nur dann die Ammon-Wirkung derjenigen der Salpeter-Wirkung gleich kommt, wenn die Bedingungen für eine ungestörte Nitrifikation gegeben sind. Dementsprechend ist zwischen der nitrifizierenden Kraft eines Bodens und seiner Ertragsfähigkeit mehrfach ein enger Zusammenhang konstatiert worden.

Daß dies indessen durchaus nicht immer so sein muß, daß vielmehr die Fruchtbarkeit eines Feldes noch von zahlreichen anderen Faktoren abhängt, das habe ich wohl schon hinreichend diskutiert. Gleichwohl wird die Salpeterbildung stets ihre große Wichtigkeit behalten.

In Ergänzung meiner in der 10. Vorlesung gebrachten Ausführungen über den Verlauf der Nitrifikation und über die Eigenschaften der nitrifizierenden Organismen, sei hierüber noch das Folgende gesagt.

Trotzdem der Prozeß eigentlich in zwei Phasen verläuft, greifen doch fast ausnahmslos Nitrit- und Nitratbildung im Boden so eng ineinander, daß höchstens Spuren von Nitrit in der Ackererde nachgewiesen werden können. Nur dann, wenn wie in schwach sauren Böden oder infolge einer übermäßig starken Ammonsalz-Düngung die Bedingungen für die Nitrifikation weniger günstig sind, kommt es zu einer deutlichen Anhäufung von Nitrit. In stark saurem Hochmoor und ähnlichen Böden unterbleibt die Nitrifikation naturgemäß meist gänzlich; erst bei weiter fortgeschritten Kultivierung solcher Ländereien stellt sie sich ein.

Wie die meisten anderen Umsetzungen zeigt auch die Nitrifikation unter unseren klimatischen Verhältnissen ein Frühjahrs- und ein Herbstmaximum. In Frankreich, Deutschland und England ausgeführte Untersuchungen haben sehr interessante Übereinstimmungen in dieser Richtung ergeben. Besonders bemerkenswert ist, daß gerade bei der Salpeterbildung das Frühjahrs-Maximum auffallend zeitig einzutreten pflegt. Der in Abb. 52 (S. 340) verzeichnete Kulminationspunkt im März 1904 wurde bei einer Bodentemperatur von nur 2°C erreicht. A. MÜNTZ kam, wie ich schon (S. 77) erwähnt habe, kürzlich zu ganz analogen Werten, trotzdem er sogar die betreffende Erde dauernd im Eisschrank hielt. In den subtropischen Gebieten wirkt vor allem die Bodenfeuchtigkeit auf den Ablauf der Nitrifikation bestimmend ein. Dagegen unterbleibt in den Tropen die Salpeterbildung mitunter wegen der zu starken Erwärmung des Bodens ganz. Eine 40°C wenig überschreitende Temperatur tötet bei längerer Einwirkung die bisher allein bekannten Salpeterbildner. Thermophile zu gleicher Funktion befähigte Arten scheint es nicht zu geben.

Am Schlusse der 10. Vorlesung bemerkte ich auch bereits, daß nach einem in der Literatur lange Zeit als unumstößlich hingenommenen, obwohl niemals bewiesenen Aussprache P. WAGNERS die Nitrifikation stets mit Stickstoff-Verlusten verknüpft sein soll. Tatsächlich finden aber, wenn die Salpeterbildung ungestört verläuft, keine Verluste statt. Die Umsetzung wird vielmehr von den Bakterien so gut wie restlos bewirkt. Diese Erkenntnis ist durchaus nicht neu. Sie ist durch

TH. SCHLÖSING sen.¹⁾ einwandfrei als richtig erwiesen worden, schon längere Zeit bevor jene Irrlehre zum ersten Male verkündet und eifrig weitergetragen wurde. Später hat dann der jüngere SCHLÖSING in einigen besonders interessanten Versuchsreihen gezeigt, wie scheinbar sehr geringfügige äußere Einflüsse entweder eine sehr unvollständige oder eine sehr vollständige Nitrifikation bedingen können²⁾.

Verschiedene Sand-Ton-Gemische wurden mit etwas Ammonsulfat, Kreide und zunächst jedesmal mit 9,5 Gewichts-Prozenten Wasser vermischt. Nach einigen Monaten stellten sich folgende Resultate heraus:

Ton-Anteil . . .	0 %	10 %	15 %	20 %	25 %	30 %
Sand-Anteil . . .	100 "	90 "	85 "	80 "	75 "	70 "
nitrifiz. Stickstoff	63 "	66 "	94 "	100 "	21 "	2,7 "

In den sandreichen Gemischen mag eine teilweise Verdunstung des Ammoniaks Platz gegriffen haben. Daß aber in den tonreichen Gemischen lediglich dem relativ geringen Wassergehalt (d. h. der nicht ausreichenden Sättigung der Wasserkapazität) die Schuld an der geringen Nitrifikation beizumessen ist, lehrten einige weitere Versuche. Dem tonreichsten Gemisch (30 : 70) wurden steigende Wasser-Mengen mit folgendem Ergebnis zugesetzt:

Gewichtsprozente Wasser .	10,6	11,5	13,2	14,0
nitrifizierter Stickstoff %	80	100	100	100

Im freien Felde werden zweifellos nicht selten allerhand störende Momente (vor allem die Ammon-Assimilation) keine restlose Nitrifikation zu stande kommen lassen. Das sind indessen Dinge, die mit der Nitrifikation als solcher nichts zu tun haben. In der nächsten Vorlesung werde ich etwas näher auf sie eingehen.

¹⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 109, 1889, p. 423.

²⁾ Comptes rendus de l'Académie Paris, T. 125, 1897, p. 826.

25. Vorlesung.

Boden-Bakteriologie (Schluß): Verluste und Gewinne an gebundenem Stickstoff.
Boden-Reinigung und Boden-Impfung. — Rückblick und Ausblick.

Verluste an gebundenem Stickstoff. Mit welchen Stoffen wir unsere Felder auch düngen mögen, fast niemals erhalten wir, wenigstens in der ersten Ernte, die in der Düngung zugeführten Stickstoffmengen vollständig zurück. Wie ist diese wirtschaftlich entschieden nicht gerade vorteilhafte Tatsache zu erklären? Nun, der ungleiche Wirkungswert der verschiedenen Stickstoff-Dünger gibt uns schon sehr bestimmte Anhaltspunkte zur richtigen Beantwortung der Frage. Je mehr Kohlenstoff die betreffende Düngung neben dem Stickstoff dem Boden zuführt, um so unvollständiger ist im allgemeinen die Ausnutzung. Natürlich bedingt die ungleiche Zersetzunglichkeit der verschiedenen Verbindungen allerhand Inkongruenzen. Aber im großen und ganzen bleibt jene Gesetzmäßigkeit deutlich erkennbar. Je bessere Kohlenstoff-Quellen zur Verfügung stehen, um so schlechtere Stickstoff-Quellen können die Erdorganismen ihrem Stoffwechsel nutzbar machen (s. S. 59). Sogar der Salpeter-Stickstoff, der an sich von den Kulturgewächsen am vollständigsten verwertet werden kann, wird diesen durch die Mikroben des Bodens dann mehr oder minder vollständig entzogen, wenn größere Quantitäten leicht zersetzlicher organischer Substanzen zugleich mit dem Salpeter dem Felde zugeführt werden.

Aus zahlreichen Versuchen kann geschlossen werden, daß in der mäßig humosen Ackererde, wie sie uns in der Regel begegnet, nur etwa 3—5 % vom Nitrat- und etwa 10—25 % vom Ammoniak-Stickstoff den Nitrat- und Ammon-assimilierenden Bakterien und Pilzen anheimfallen. Bei Anwesenheit großer Mengen von Stroh, von nicht gerottetem Stallmist u. dgl. schnellen diese Zahlen sofort sehr bedeutend in die Höhe. Die assimilierenden Mikroben können unter dieser Bedingung eine so lebhafte Tätigkeit entfalten, daß sie sämtliches vorhandene Ammon oder Nitrat den höheren Pflanzen entziehen. In solchen Fällen ist dann eventuell gar kein Mehr-, vielleicht sogar ein Minderertrag an Stickstoff in der Erntemasse zu verzeichnen.

Diese Erscheinung ist, wie ich bereits (S. 161) erwähnt habe, von P. WAGNER und den ihm folgenden deutschen Agrikulturchemikern z. T. fälschlich auf Denitrifikations-Erscheinungen zurückgeführt worden. Es wurde nicht beachtet, daß schon lange zuvor, durch sorgfältige Untersuchungen französischer und englischer Forscher festgestellt worden war, daß die Denitrifikation nur unter Luftabschluß stattfindet und eben deshalb in der Ackererde in der Regel — abgesehen von zeitweiliger vollständiger Durchnässung — keine nennenswerte Rolle spielt.

Es hat bedauerlich viel Zeit und Mühe gekostet, die durch jenen Autor angerichteten Konfusionen wieder zu beseitigen. Um so schärfer muß es aber zurückgewiesen werden, wenn noch neuerdings auf Grund von Experimenten, die unter ganz abnormen Bedingungen durchgeführt wurden, die Denitrifikation im Boden als praktisch bedeutungsvoll hingestellt wird. Speziell hat TH. PFEIFFER einige Versuchs-Ergebnisse veröffentlicht, die diese Behauptung angeblich stützen sollen¹⁾. Die betreffende (in Gefäße gefüllte) Erde erhielt pro ha berechnet ca. 1700 kg Salpeter, 10000 kg Stroh und so viel Feuchtigkeit, daß das Stroh typisch anaërope Zersetzung zeigte. Die Bedingungen waren also ungefähr die gleichen, wie in einer mit Stroh versetzten in hoher Schicht aufbewahrten Salpeter-Lösung, wie sie von WAGNER allen Richtigstellungen zum Trotz immer von neuem als wichtigstes Beweisstück für seine Denitrifikations-Theorie vorgeführt wurde. Unter anaëroben Bedingungen angestellte Experimente können selbstverständlich niemals als Anhalt für den Verlauf der aëroben Prozesse im Boden dienen.

Bringt man in einen von vornherein an Nitrat reichen oder mit Salpeter ausgiebig gedüngten und dazu an übermäßiger Nässe leidenden Acker reichliche Mengen Stroh oder nicht gerotteten Stallmist, so wird man allerdings auch im freien Felde eine Denitrifikation „erzielen“ können. Natürlich wäre aber ein solches Experiment theoretisch wie praktisch gleich wertlos.

Noch größere Bedeutung sollte indessen nach P. WAGNER der Ammoniak-Verdunstung aus dem Boden zukommen. Auch diese Meinung war in der französischen Literatur schon reichlich 20 Jahre zuvor als nicht zutreffend erwiesen worden. Vernischt man ein wenig Erde mit großen Mengen Ammoniumsulfat und Kalk und setzt man sie dann in flacher Schicht längere Zeit der Einwirkung von Luft und Sonne aus, so wird man allerdings oft eine Ammoniak-Verdunstung konstatieren können²⁾. Irgend welche weitergehenden Schlüsse dürfen selbstverständlich hieraus nicht gezogen werden.

Bei starker Düngung mit Ammon-Karbonat (in Form von Jauche usw.) kann in der Tat, und speziell bei seichter Unterbringung, wie ich dargelegt habe, die Ammoniakverdunstung einen beachtenswerten Umfang annehmen.

¹⁾ Mitteilungen d. landw. Instit. Breslau, Bd. 4, 1909, S. 740.

²⁾ Z. B. war der zu den auf S. 360 besprochenen Versuchen SCHLÖSINGS benutzte Sand, in dem möglicherweise Ammoniak-Verdunstung stattfand, mit Ammoniumsulfat und Kalkkarbonat in solchen Mengen versetzt, daß pro ha ca. 4500 kg von jenem, 45 000 kg von diesem entfallen wären.

Daß das Ammon-Sulfat dem Chile-Salpeter bei der Stickstoffversorgung unserer Kulturgewächse oft nicht gleichkommt, hat außer in der Ammon-Assimilation seinen Grund vornehmlich in der fehlenden Natron-Wirkung, zuweilen in der physiologisch-sauren Natur dieses Salzes und mitunter wohl auch in einer sehr festen Bindung des Ammoniaks durch absorbierende Bestandteile des Bodens.

Die bei der Gründung nicht selten wahrnehmbaren Stickstoff-Verluste sind, außer auf Versickerung von Nitrat wohl auch noch auf andere Ursachen zurückzuführen, über deren Natur leider vorläufig noch gar nichts Bestimmtes gesagt werden kann.

Stickstoff-Bindung. Da wir auch im übrigen mit Verlusten an gebundenem Stickstoff durch Versickerung rechnen müssen — die übrigens auf Grund von nicht einwandfreien Versuchen oft erheblich überschätzt werden — so sind die schon früher (S. 161—170) in ihren Hauptzügen erörterten verschiedenen Möglichkeiten der Boden-Bereicherung durch Bindung des elementaren Stickstoffes von umso größerer Wichtigkeit.

Was zunächst die Fixierung des atmosphärischen Stickstoffes infolge des Zusammenwirkens von Leguminosen (oder gewissen anderen höheren Pflanzen) mit Bakterien (oder anderen Mikroben) anlangt, so habe ich hier noch die folgenden Punkte hervorzuheben.

Die Gestalt der Wurzelknöllchen sowie deren Stellung an der Wurzel ist bei den verschiedenen in Betracht kommenden Pflanzenarten ziemlich charakteristisch. Abb. 54 veranschaulicht uns die Haupttypen. Im einzelnen fehlt es allerdings nicht an Abweichungen. Namentlich der Zeitpunkt, an dem die Mehrzahl der Bakterien in die Wurzel eingedrungen ist, wirkt bestimmt auf die Anordnung der Knöllchen ein. Erfolgte die Infektion früh, so sitzen fast alle Knöllchen ziemlich dicht am Wurzelhalse. Denn nur in junge Wurzeln dringen die Bakterien ein.

Wie die Bakterien-Masse in dem zum Knöllchen umgebildeten Pflanzengewebe eingebettet liegt, zeigt Abb. 55. Von dem dunkel gezeichneten Vibrovasalstrang der Wurzel tritt ein Seitenast in das Knöllchen ein, wo er sich an der (hellgrau abgetönten) nach außen hin von der Wurzelrinde bedeckten Bakterien-Ansammlung reich verzweigt. Die Überführung der Kohlenhydrate aus und der stickstoffhaltigen Assimilationsprodukte in die Wurzel ist dadurch sichergestellt.

Welcher Art diese Assimilationsprodukte sind, wissen wir noch nicht genau. Allem Anscheine nach handelt es sich um eiweißartige Stoffe. Die Trockensubstanz der Knöllchen ist naturgemäß verhältnismäßig stickstoffreich. Infolgedessen wirken die Leguminosen bekanntlich auch dann deutlich bodenbereichernd, wenn die oberirdische Pflanzen-Masse abgeerntet wird. Da bei deren Unterpflügen die darin enthaltenen

reichliche Versorgung mit Stickstoff. Mit Recht ist deshalb immer von einer Symbiose zwischen Leguminosen und Knöllchenbakterien gesprochen worden. Manche Autoren haben allerdings geglaubt, einen Parasitismus, einen Kampf zwischen Knöllchenbakterien und Leguminosen annehmen zu müssen. Ich kann mich mit dieser Anschauung nicht befriedigen. Vor allem kommt m. E. hier die Tatsache in Betracht, daß die Bakterien in kranke Pflanzen nicht eindringen. Gerade kranke, in ihrer Widerstandskraft geschwächte Organismen unterliegen aber bekanntlich am ehesten den Angriffen der Schmarotzer. Andererseits ist aber auch der Nutzen, der den Bakterien aus dem Zusammenleben erwächst, so deutlich, daß von einem etwaigen Einfangen und einseitigen Ausnutzen der Bakterien durch die Pflanze gleichfalls nicht gesprochen werden kann. Daß — wie bei jedem Gemeinschafts-Verhältnis — das eine Mal diese, das andere Mal jene Partei einen etwas größeren Vorteil davon haben kann, soll durchaus nicht bestritten werden. Symbiosis heißt, wie ich schon erwähnt habe, ursprünglich „eheliches Zusammenleben“. Auch darin ist aber der „Kampf“ ja nicht immer ganz ausgeschlossen. —

Ob man verschiedene Arten oder nur verschiedene Rassen von Knöllchenbakterien unterscheiden will, kann füglich der Meinung jedes Einzelnen überlassen bleiben. Von prinzipieller Bedeutung ist nur die Tatsache, daß in der weitaus überwiegenden Mehrzahl aller Fälle die Knöllchenbildung dann am besten von statthen geht, wenn die an die betreffende Pflanzenart angepaßten Bakterien in genügender Menge und in lebenskräftigem Zustande zugegen sind. Ein Wechsel ohne jede Herabsetzung der Wirkung scheint nur zwischen Lupinen und Serradella möglich zu sein.

Da die meisten morphologischen und kulturellen Eigenschaften der verschiedenen Rassen (oder Arten) von Knöllchenbakterien nur ziemlich unwesentliche Differenzen zeigen, so hat man neuerdings auch das Agglutinations-Verfahren zur Unterscheidung zu Rate gezogen. Wie zu erwarten war, ergaben sich Differenzen. Ob man aber berechtigt ist, diese als sichere Grundlage zur Aufstellung einer größeren Zahl von Knöllchenbakterien-Arten anzusehen, erscheint mir denn doch sehr fraglich. Ich erinnere an das, was ich in der 14. Vorlesung (S. 210) über den mitunter recht überraschenden Ausfall der Agglutinationsprobe mitgeteilt habe. In Übereinstimmung damit stellte sich bei einigen (noch nicht veröffentlichten) Versuchen¹⁾ heraus, daß z. B. Wicken-Bakterien nicht durch Luzerne-Bakterien-, wohl aber durch ein Milchsäure-Bakterien-Serum agglutiniert wurden. Umgekehrt wirkte nicht das Wicken-, wohl aber das Luzerne-Serum auf Milchsäure-Bakterien ein. Klee-Bakterien wurden sowohl durch Wicken- wie durch Bohnen-Serum agglutiniert, dagegen übte das Klee-Bakterien-Serum zwar auf Wicken-, nicht aber auf Bohnen-Bakterien einen Einfluß aus.

¹⁾ Ich verdanke diese Angaben einer brieflichen Mitteilung des Herrn Dr. L. BUDINOW in Moskau.

Wichtiger und einer genaueren Prüfung wert scheint mir die gelegentlich in meinem Laboratorium gemachte Beobachtung zu sein, daß in einer stickstoffreien Zuckerlösung die Knöllchenbakterien aus kleeartigen Futterpflanzen dann eine besonders lebhafte Stickstoffbindung erkennen ließen, wenn der Lösung CaCO_3 hinzugefügt wurde. Bei den Lupinen-Bakterien wirkte dagegen FeSO_4 in analoger Weise. Die Kalkfeindlichkeit der Wirtspflanze tritt also auch bei den Knöllchenbakterien deutlich hervor.

Die Zahl der bisher bekannten Leguminosen-Arten beläuft sich auf rund 6500. Außer den *Papilionaceen*, zu denen u. a. auch die für Ostasien so überaus wichtige Sojabohne und die Erdnuß gehören, kommen hier noch speziell für tropische Gebiete die *Mimosaceen* (*Mimosa*, *Acacia*) sowie die *Caesalpiniaceen* (Johannisbrobaum u. a.) in Betracht. Außerdem aber fehlt es, wie wir wissen, auch in anderen Pflanzenfamilien nicht an Arten, die befähigt sind, in ein symbiotisches Verhältnis zu stickstoffbindenden Bakterien zu treten. Ich erinnere an die Erlen, Ölweiden, Bergkiefer, Cycadeen usw. Es darf wohl gehofft werden, daß diese bodenbereichernden Gewächse in immer steigendem Maße das Interesse des Land- und des Forstwirtes finden werden. Im großen und ganzen kann man rechnen, daß ein gut geratener Leguminosen-Bestand nicht nur ansehnliche Mengen nährstoffreichen Futters liefert, sondern auch (am besten auf dem Umweg durch das Tier) noch soviel Stickstoff in den Boden bringt, daß die nachfolgende Frucht mit diesem teuersten Nährstoff ausreichend versorgt ist. Außerdem aber scheint es für Gebiete mit einstweilen noch ganz extensiver Kultur sehr aussichtsreich zu sein, auf Strecken stickstoffarmen Landes perennierende Gewächse anzusiedeln, die den Boden allmählich anreichern, so daß er später mit umso größerem Nutzen in Kultur genommen werden kann. Auch für wasserarme Gebiete finden sich unter den genannten Pflanzenarten sehr geeignete „Kultur-Pioniere“.

Die Kosten für je 1 kg Stickstoff in Form von Leguminosen-Gründüngung belaufen sich, wie zahlreiche Berechnungen gelehrt haben, unter den für Deutschland geltenden Verhältnissen mindestens auf ca. 5 und höchstens auf rund 50 Pfennige. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß dieser Stickstoff meist einen wesentlich geringeren Wirkungswert zeigt als Ammon- und Salpeterstickstoff. —

In bezug auf die durch frei im Boden lebende Organismen bewirkte Stickstoffbindung mag, in Ergänzung des hierüber in der 11. Vorlesung Gesagten, folgendes hervorgehoben sein.

Da die Zahl der zur Fixierung des elementaren Stickstoffs befähigten Mikroben-Arten sehr bedeutend ist, so darf jedenfalls damit gerechnet werden, daß vor allem die physikalischen und chemischen Eigenschaften des betreffenden Bodens darüber entscheiden, ob es zu einer ausgiebigen Stickstoffbindung kommt oder nicht.

Vor allem spielt die Menge und die Beschaffenheit des vorhandenen Humus eine ausschlaggebende Rolle. Die Veratmung der organischen Substanzen liefert die Energie zur Bindung des Stickstoffes. Ich habe (S. 170) gezeigt, daß im großen Durchschnitt auf rund 100 Teile verbrauchter kohlenstoffhaltiger Substanz 1 Teil Stickstoff gebunden wird, und ferner habe ich (S. 349) nachgewiesen, daß wir mit einem etwa 4—5000 kg erfassenden Humus-Umsatz pro ha und Jahr zu rechnen haben. Natürlich zehren von diesem Humus auch noch allerhand andere, nicht stickstoffbindende Organismen. Andererseits kann allerdings die Intensität der Stickstoffbindung unter Umständen eine deutliche Steigerung erfahren. Wir werden wohl aber ziemlich das Richtige treffen, wenn wir auf Grund dieser Tatsachen die Menge des durch die Erd-Mikroben fixierten Stickstoffs auf ca. 10—40 kg pro ha und Jahr veranschlagen.

Die von manchen Autoren sehr hoch eingeschätzte Mitarbeit niederer Algen und Kohlensäure-assimilierender Bakterien kann hierbei aus früher (S. 170 und 185) angegebenen Gründen vernachlässigt werden. Die wenigen Kilogramm organischer Substanz, die auf diesem Wege in den Boden gelangen, sind verhältnismäßig verschwindend gering.

Von BERTHELOT, SCHLÖSING u. a. angestellte Versuche führten zu entsprechenden Resultaten. Speziell sprachen sich jene beiden französischen Agrikulturchemiker bereits vor mehr als 20 Jahren dahin aus, daß die pro ha zu erwartenden Stickstoffgewinne 16—40 kg betragen können. BEIJERINCK und andere Bakteriologen wurden durch ihre Experimente zu der gleichen Ansicht geführt.

Leider blieben — wie in so vielen anderen Fällen — auch hier die in Frage kommenden wissenschaftlichen Arbeiten in Deutschland fast ganz unbeachtet. Auch hier waren die unvermeidlichen Folgen Überschätzung auf der einen, Unterschätzung auf der anderen Seite.

Speziell glaubte TH. PFEIFFER alle Hoffnungen auf nennenswerte Stickstoff-Gewinne von vornherein als „falsch“ bezeichnen zu müssen. Indessen ergaben sich bei den (leider erst nachträglich) von ihm ausgeführten Versuchen gleichfalls z. T. recht ansehnliche Stickstoffgewinne. Wenn trotzdem auch heute noch der frühere Standpunkt verteidigt wird, so ist das wissenschaftlich natürlich ohne Bedeutung.

Die von dem genannten Autor ausschließlich in Anwendung gebrachte chemische Bodenanalyse kann zwar, wie schon die Untersuchungen der älteren Autoren lehrten, allgemein orientierende, nie aber definitiv entscheidende Resultate liefern. Dazu sind die ihr anhaftenden Fehlergrenzen viel zu weit. Erst solche Differenzen im Stickstoffgehalt, die pro ha ca. 500 kg ausmachen, sind leidlich sicher zu erfassen. 100 kg entsprechende Beträge können sich dagegen der Analyse vollständig entziehen. Ergeben sich in kurzfristigen Versuchen bei der Bestimmung des Erdstickstoffes keine nennenswerten Differenzen, so darf also durchaus nicht hieraus, wie dies durch TH. PFEIFFER geschah, gefolgert werden, daß in dem betreffenden Falle eine wirtschaftlich beachtenswerte Stickstoff-Bindung nicht stattgefunden habe.

Verschiedene in Rothamsted, Ellenbach, Halle und an anderen Orten z. T. Jahrzehnte hindurch fortgeführte Feldversuche lehren in

voller Übereinstimmung mit den auf anderem Wege erlangten Resultaten, daß unter den klimatischen Verhältnissen Mittel-Europas auf Stickstoffgewinne von etwa 20—40 kg pro ha und Jahr gerechnet werden darf. In subtropischen und tropischen Gebieten spielt die Stickstoffbindung im Boden, wie ich bereits andeutete, sehr wahrscheinlich eine noch etwas größere Rolle. Immerhin ist aber auch ein Gewinn von nur 20 kg pro ha jedenfalls nicht bedeutungslos.

Bearbeitung, Düngung und Nutzung des Bodens üben wie auf die anderen Umsetzungen, so auch auf diesen Prozeß einen mitunter

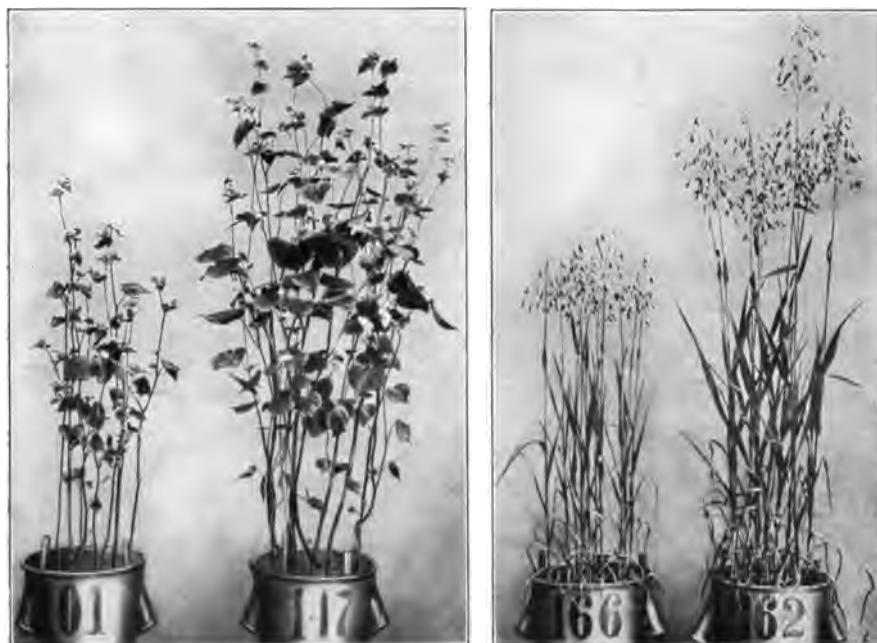


Abb. 56. Wirkung einer Zucker-Düngung auf Buchweizen und Hafer
nach A. KOCH.

Die Gefäße Nr. 101 und 166 sind unbehandelt, Nr. 147 und 162 erhielten Zucker.

recht deutlich in die Augen springenden Einfluß aus. Speziell wirken alle jene Maßnahmen entschieden fördernd, die zur Boden-Gare führen. Gerade dieser Umstand war es, der zu jener Überschätzung der Brache Veranlassung gegeben hat, von der ich am Schlusse der 23. Vorlesung sprach. Neben einer rationellen Bearbeitung und Pflege des Landes ist die Zufuhr organischer Substanz zum Boden zweifellos von hervorragender Wichtigkeit. Ohne entsprechenden Kohlenstoff-Umsatz ist keine Stickstoff-Bindung möglich. Zahlreiche Versuche haben in der Tat gelehrt, daß man durch Zugabe von Zucker, Stärke, Zellulose oder einer

anderen leicht zugänglichen Kohlenstoffquelle dasselbe erreichen kann, wie durch eine Stickstoffdüngung (Abb. 56). Entgegenstehende negative Befunde heben diese positiven Ergebnisse selbstverständlich nicht auf. Offenbar sind eine ganze Reihe, einstweilen noch nicht genau bekannter Faktoren hierbei in Rechnung zu ziehen. Z. B. fand H. B. HUTCHINSON, daß auf demselben Boden (bei Feld-Versuchen) sich stets eine Minder-Ernte herausstellte, wenn die Zucker- oder Stärke-Gabe im zeitigen Frühjahr (bei niedriger Erd-Temperatur) gegeben wurde, dagegen führte die entsprechende Behandlung im Herbst (bei relativ hoher Boden-Temperatur) zu sehr ansehnlichen Mehr-Erträgen¹⁾. Daß die Benutzung des Landes, speziell die Art der angebauten Kulturgewächse von Einfluß ist, dürfen wir gleichfalls als sehr wahrscheinlich voraussetzen. Hiermit steht wohl auch im Zusammenhang, daß gewisse Pflanzen, wie der Senf, trotzdem sie nicht in Symbiose mit stickstoffbindenden Bakterien leben, doch eine geringe bodenbereichernde Wirkung auszuüben scheinen.

Diese Fragen bedürfen der näheren Bearbeitung. Eventuell wäre aber auch nach billigen Kohlenstoffquellen zu suchen, die eine Steigerung der Stickstoffbindung im Boden in rentabler Weise ermöglichen könnten. Neuerdings hat man zu diesem Zwecke die Ablauge der Sulfit-Zellulose-Fabriken versuchsweise in Anwendung gebracht. Es bleibt abzuwarten, ob diese Bemühungen von praktischem Erfolge begleitet sein werden.

Jedenfalls steht aber fest, daß wir mit der Bindung des elementaren Stickstoffs durch frei im Boden lebende Organismen zu rechnen haben, und daß ein günstiger physikalischer und chemischer Zustand des Bodens, insbesondere ein reichlicher Vorrat an zusagenden Kohlenstoff-Verbindungen für deren Tätigkeit von ausschlaggebender Bedeutung ist.

Boden-Reinigung und Boden-Impfung. Es ist — abgesehen von Versuchen kleinsten Maßstabes — nicht möglich, wie in der Milch und im Rahm, so auch im Boden zunächst alle vorhandenen Keime abzutöten und dann die erwünschten Mikroben von neuem zuzuführen. Die indirekte Beeinflussung des Lebens im Boden durch dessen Bearbeitung, Düngung und Nutzung wird zu allen Zeiten die Hauptrolle spielen. In gewissen Richtungen und in gewissem Umfange ist aber doch auch eine direkte Beeinflussung der Mikro-Flora und -Fauna des Bodens möglich. Je mehr wir von dieser kennen lernen werden, um so zahlreichere Wege werden sich finden lassen, die uns dahin führen, das Leben im Boden möglichst zweckmäßig zu gestalten.

In manchen Fällen ist eine biologische Reinigung des Bodens, d. h. eine teilweise Abtötung der darin vorhandenen Mikroben ent-

¹⁾ Referat erstattet auf der Jahresversammlung der British Association for the Advancement of Science in Dundee, 1912.

schieden von Vorteil. Namentlich gilt dies in bezug auf verschiedene Arten von Boden-Müdigkeit. Sicherlich sind nicht wenige derjenigen Erscheinungen, die man als „Müdigkeit des Bodens“ bezeichnet, lediglich auf Nährstoff-Mangel oder auf eine nicht zusagende Reaktion der Bodenflüssigkeit zurückzuführen. Indessen bleiben doch noch genug Fälle übrig, in denen Mikroorganismen im Spiele sind; sei es, daß spezifische Schädlinge überhand genommen haben, sei es, daß der normale Bestand an Erd-Mikroben eine außergewöhnliche Veränderung erfahren hat. Z. B. können die Protozoen (wie in „müden“ Rieselfeldern) allzu sehr das Übergewicht erlangt haben.

In allen derartigen Fällen wird eine Boden-Reinigung sich sehr vorteilhaft erweisen. Nicht selten war jedoch ein bemerkenswerter Nutzen selbst dann zu verzeichnen, wenn die entsprechende Behandlung solchen Erden zu teil wurde, die durchaus noch keine ausgesprochenen Müdigkeits-Erscheinungen erkennen ließen.

Wie immer, stehen uns auch hier physikalische sowie chemische Hilfsmittel zur Verfügung. In der 8. Vorlesung (S. 107) erwähnte ich bereits, daß das altübliche Brennen des Bodens sowie das neuerdings in Aufnahme gekommene Einleiten von Dampf in den Boden durch direkte Beeinflussung des Mikroben-Bestandes von Nutzen werden kann. Unstreitig üben diese Maßnahmen oft auch noch in anderer Richtung (durch Aufschließen des Nährstoff-Vorrates, durch Änderung der Struktur des Bodens, durch eventuelle Zerstörung schädlich wirkender Substanzen usw.) einen günstigen Einfluß aus. Daß aber das mikrobiologische Moment in der Regel an erster Stelle steht, geht deutlich daraus hervor, daß alle möglichen Bakterien-Gifte genau den gleichen Effekt hervorrufen können. Die Zahl der bisher geprüften Substanzen ist schon sehr groß. Ätzkalk, Chlorkalk, Eisen-, Mangan- und Zinksalze, Äther, Schwefelkohlenstoff, Formaldehyd, Benzol, Xylol, Toluol, allerhand Karbolpräparate u. a. m. haben sich als brauchbar erwiesen. Besonders günstige Resultate ergaben Schwefelkohlenstoff, Formaldehyd und Toluol. Namentlich zur Bekämpfung der Rebenmüdigkeit ist der Schwefelkohlenstoff schon seit verhältnismäßig langer Zeit und in ziemlich großer Ausdehnung angewandt worden. Neuerdings haben sich in englischen Gärtnereien Toluol und Formaldehyd recht bewährt. Das Müdewerden und die kostspielige häufige Erneuerung der Treibhauserde kann sowohl durch das Dämpfen wie durch die chemische Behandlung des Bodens gleich gut verhindert bzw. überflüssig gemacht werden. Abb. 57 zeigt uns sehr deutlich den wohltätigen Einfluß einer solchen Boden-Reinigung.

Der Effekt ist stets der, daß als unmittelbare Folge der Behandlung ein mehr oder minder weitgehendes Absterben der Erd-Organismen zu konstatieren ist. Nach einiger Zeit (nachdem die Gifte ver-

dunstet oder chemisch gebunden sind) folgt dann eine rapide Vermehrung der Überlebenden. Die zahlreichen Leichen werden zersetzt, dabei werden



Abb. 57. Partielle Erd-Sterilisation nach E. J. RUSSELL und PETHERBRIDGE.
a Rebenfüde Erde unbehandelt, b mit Dampf, c mit Formaldehyd behandelt.

ansehnliche Stickstoff-Mengen für die Pflanzen verfügbar, so daß diese den Eindruck machen, als ob sie reichlich mit Stickstoff gedüngt worden seien.

Zweifellos können die in den Boden gebrachten Gifte bei hinreichender Verdünnung sowohl auf die Mikroben wie auf die angebauten Gewächse auch einen wachstumsfördernden Reiz ausüben. Den ganzen Vorgang aber als „Reizwirkung“, die keimtötenden Substanzen schlecht-hin als „Reizstoffe“ aufzufassen, ist m. E. nicht zulässig. Einige prinzipielle Bedenken gegen die allzu starke Ausdehnung der Reiztheorie äußerte ich schon am Schluß der 4. Vorlesung. Hier müssen wir aber vor allem im Auge behalten, daß das Dämpfen und Brennen des Bodens ganz ähnlich wirkt, wie die Einführung von Giften. Ich wüßte nicht, wie jene Maßnahmen „reizend“ auf die einige Wochen nach der Behandlung angebauten Kulturgewächse einwirken sollten. —

Eine direkte (wenn auch unbewußte) Vermehrung der Bodenorganismen durch Impfung ist seit alters her in Gestalt einer Kompost- oder Stallmist-Gabe üblich gewesen. Vergleichende Versuche mit sterilisiertem und nicht sterilisiertem Material haben fast ausnahmslos zu gunsten der Verwendung der keimhaltigen Stoffe gesprochen. Daß gelegentlich einmal eine solche Wirkung ausbleibt, vielleicht sogar eine Minderung des Effektes zu verzeichnen ist, kann nicht überraschen. Die mannigfachen symbiotischen und antagonistischen Prozesse, die sich zwischen den neu zugeführten und den bereits im Boden vorhandenen Organismen abspielen, lassen auch ein derartiges Resultat sehr erklärlch erscheinen.

Zu den meist negativen Ergebnissen der bisher ausgeführten Boden-Impfversuche hat dieser Umstand wohl sehr wesentlich beigetragen. Eine ganze Reihe von Impfstoffen wurden in Vorschlag, z. T. auch in den Handel gebracht. Die Rolle, die sie spielten, war in der Regel kurz und wenig rühmlich.

Am meisten hat der sogen. Alinit die ganze Angelegenheit in Mißkredit gebracht. In Abb. 58 sehen wir das Präparat, wie es s. Z. geliefert wurde, nebst der zugehörigen Gebrauchsanweisung. (Der das Bild umziehende Trauer-Rand kam zwar unbeabsichtigt hinzu; er ist aber jedenfalls sehr am Platze.) Auf den Feldern des Rittergutes Ellenbach bei Cassel, aus dem der *Bacillus Ellenbachensis* getaufte, dem Heu-Bazillus verwandte Alinit-Bazillus isoliert worden ist, wurden entschieden günstige Resultate durch die Alinit-Impfung erzielt. An anderen Orten blieb meist jede Wirkung aus; zuweilen war sie ungünstig, selten günstig. Ganz dasselbe gilt für alle ähnlichen Präparate.

Erinnern wir uns an das, was ich in bezug auf den maßgebenden Einfluß der äußeren Umstände mehrfach betont habe, so werden diese zahlreichen Mißerfolge nicht unsere Verwunderung erregen. Nur wenn die chemischen, physikalischen und biologischen Bedingungen günstig sind, kann die in einen Boden durch die Impfung neu eingeführte Art

darin ein gutes Fortkommen finden. Heute, wo wir noch so sehr wenig über alle diese Dinge wissen, stehen alle Versuche in dieser Richtung von vornherein auf höchst unsicherem Grunde.

Die einzige Ausnahme, in der die Verwendung von Impfstoffen auf dem Felde sich in großem Umfange bewährt hat, bildet die Impfung der Leguminosen mit Knöllchenbakterien. Hier ist eben der Erfolg in der Hauptsache dadurch gesichert, daß die Bakterien in den jungen Wurzeln der zugleich ausgesäten Wirtspflanzen sehr bald eine zusagende Wirkungsstätte finden. Allerdings haben auch hier nicht wenige der in großer Zahl in den Handel gebrachten Impfstoffe, deren



Abb. 58. Alinit ($\frac{3}{5}$ nat. Gr.).

einige in Abb. 59 reproduziert wurden, mehr oder minder vollständig versagt.

Das älteste dieser Präparate ist das Nitragin, das in letzter Zeit, seitdem es von den Agrikultur-Werken (Dr. A. KÜHN) in Wesseling bei Köln hergestellt wird, nicht wenig zu wünschen übrig läßt. Die einige Jahre von Amerika aus mit viel Reklame vertriebene Nitroculture hat fast ganz versagt. Ähnliches gilt für das (englische) Nitrobacterine, das außer für Leguminosen auch für fast alle anderen Gewächse (Erdbeeren, Getreide usw.) von großem Nutzen sein soll — aber leider nicht ist. Bewährt hat sich das von der Firma HUMANN und TEISLER in Dohna bei Dresden in den Handel gebrachte Azotogen. Gleiches gilt für die meisten der von verschiedenen europäischen und amerikanischen Versuchsstationen und ähnlichen wissenschaftlichen Anstalten abgegebenen Kulturen. Im Azotogen sind die Bakterien in Erde verteilt. In der Nitro-

culture waren sie an Watte angetrocknet. Dieser Punkt war für den Erfolg bzw. Misserfolg ausschlaggebend (vgl. S. 67).

Läßt trotz ausreichender Düngung mit Kali, Phosphorsäure und (eventuell) mit Kalk die Knöllchenbildung der angebauten Leguminosen zu wünschen übrig, so empfiehlt sich jedenfalls ein entsprechender Impfversuch. War dieser von Erfolg begleitet, so kann dann die Erde des betreffenden Teilstückes selbst weiterhin zur Impfung benutzt werden. Gerade beim Leguminosen-Anbau hat sich das Aufbringen von Impferde von anderen, gut bestandenen Feldern schon seit alter Zeit bewährt. Vorsicht ist insofern von nötigen, als auf diesem Wege auch allerhand Schädlinge leicht mit übertragen werden können. Die über-



Abb. 59. Leguminosen-Impfkulturen (1/2 nat. Gr.).

raschendsten Erfolge gibt eine Leguminosen-Impfung gewöhnlich dann, wenn eine Pflanzenart zum ersten Male auf dem betreffenden Felde angebaut wird. Die in Abb. 60 dargestellten Serradella-Pflanzen entstammen einem solchen Versuch.

Rückblick und Ausblick. Wir stehen am Schlusse unserer Betrachtungen. Wir haben die zahlreichen wissenschaftlich wie praktisch gleich wichtigen Fragen kennen gelernt, welche die landwirtschaftliche Bakteriologie teils schon beantwortet hat, teils zu beantworten haben wird.

Die wissenschaftliche Bedeutung dieses neuen Teilgebietes der Landwirtschafts-Lehre beruht darin, daß die Pflanzen- und die Tier-

Produktionslehre hierdurch ihre wünschenswerte Ergänzung erfahren. Fast alle Stoff-Umwandlungen, die sich außerhalb des Organismus unserer Haustiere und Nutzpflanzen im landwirtschaftlichen Betriebe vollziehen, werden durch Bakterien und Pilze ausgelöst. Zum Teil wirken diese aber auch fördernd am Stoffwechsel der höheren Organismen mit. Ich erinnere an die Lösung der Zellulose im Verdauungs-Traktus der Haustiere und an die Stickstoffbindung in den Wurzelknöllchen der Leguminosen. Die landwirtschaftliche Mikrobiologie ergänzt die



Abb. 60. Ungeimpfte (a) und geimpfte (b) Serradella ($\frac{1}{3}$ nat. Gr.).

Physiologie und Biologie der Kultur-Organismen derart, daß nunmehr der ständig im landwirtschaftlichen Betriebe sich abspielende Stoff-Kreislauf in seiner Gesamtheit nach einheitlichen Gesichtspunkten kausal erfaßt wird. Je genauer und vollständiger diese ursächlichen Zusammenhänge aufgedeckt werden, mit umso mehr Sachkenntnis und Nutzen können dann auch alle diese Prozesse geleitet und verwertet werden.

Die praktische Bedeutung der landwirtschaftlichen Bakteriologie beruht demgemäß darin, daß sie den Landwirt lehrt, wie er sich

der Hilfe der Bakterien und Pilze, mit denen er täglich arbeiten muß, in einer am meisten Erfolg versprechenden Weise bedienen kann. Wir haben gesehen, daß viele der technischen Maßnahmen im Landwirtschafts-Betriebe darauf hinauslaufen, Leben und Tätigkeit der nützlichen und der schädlichen Mikroorganismen teils indirekt, teils direkt zu beeinflussen. Zum Teil sind wir bereits soweit, hochgezüchtete Kultur-Mikroorganismen praktisch nutzbar zu machen. Bei der Aufbewahrung der Futtermittel, bei der Gewinnung und Verarbeitung der Milch, bei der Lagerung und Verwendung des Stalldüngers sowie bei der Bewirtschaftung des Bodens können sich Bakterien, Pilze und Protozoen sehr nützlich, aber eventuell auch sehr schädlich erweisen. Infolge unzulänglicher Kenntnisse auf mikrobiologischem Gebiete haben wir jetzt noch in allen Ländern mit ausgedehntem Ackerbau und hoch entwickelter Milchwirtschaft Jahr für Jahr mit enormen wirtschaftlichen Schädigungen zu rechnen. Allein die während der Lagerung des Stalldüngers eintretenden Stickstoff-Verluste beziffern sich in Ländern wie Deutschland auf mehrere Hundert Millionen Mark im Jahr. Dazu kommt die oft recht unvollständige Ausnutzung der verschiedenen stickstoffhaltigen Düngemittel auf dem Felde, ferner die sehr bedeutenden Wertsverminderungen von Milch, Butter und Käse infolge des Auftretens von Fehlern bakteriellen Ursprunges, sowie die Verluste an wertvollen Futterstoffen, veranlaßt durch unzureichende Kenntnisse über die jeweils zweckmäßigste Art der Aufbewahrung.

Die von der landwirtschaftlichen Bakteriologie zu erledigenden Aufgaben sind also ohne Zweifel sehr zahlreich und von hoher Bedeutung für die Wissenschaft, für den praktischen Landwirt und für die gesamte Volkswirtschaft. Die Lösung dieser Aufgaben ist bisher mit befriedigendem Erfolge fast nur insoweit in Angriff genommen worden, als es sich um Molkerei-bakteriologische Fragen handelt. Dagegen bleibt auf dem Gebiete der Bakteriologie des Düngers und des Bodens einstweilen noch fast alles zu tun. Trotzdem gerade in Deutschland, zum Teil schon vor langer Zeit, hervorragende praktische Landwirte — ich erinnere an KETTE und SCHULTZ-Lupitz — nachdrücklich für eine angemessene Förderung dieses Teiles der Landwirtschafts-Wissenschaft eingetreten sind, ist fast nichts in dieser Richtung geschehen. Ja wir haben sogar sehen müssen, daß höchst wichtige Fortschritte, die im Auslande, speziell in Frankreich und in England, auf dem Gebiete der Bakteriologie des Düngers und des Bodens gemacht worden sind, in Deutschland fast ganz unbeachtet blieben. Und es scheint auch kaum so, als ob für die nächste Zukunft hier eine entschiedene Besserung der Verhältnisse zu erwarten wäre. Glücklicherweise ist man in anderen Kulturländern, vor allem in England und in den Vereinigten Staaten

von Nord-Amerika, mit um so größerem Eifer an die Lösung dieser wichtigen Fragen herangetreten. Der Kosmopolitismus der Bakterien erlaubt es, aus den jenseits des Weltmeeres gewonnenen Resultaten wissenschaftlicher Forschung ohne weiteres Nutzen zu ziehen. Und wir wollen nur hoffen, daß wenigstens dies auch in Deutschland in Zukunft in größerem Umfange geschehen möge als bisher. Denn nur auf Grund einer genauen Kenntnis der Ursachen der Erscheinungen sind wir in der Lage, mit Sicherheit die einen möglichst hohen Erfolg versprechenden praktischen Maßnahmen auszuwählen und in Anwendung zu bringen.

Namen- und Sachregister.

ABBEscher Beleuchtungs-Apparat 108.
Ablange d. Zellulose-Fabriken 370.
Abwasser-Reinigung 305—309.
Acacia 367.
Achromatium oxaliferum 19, 195.
acidophil 60.
acidotolerant 60.
Acker s. Boden.
— **-Humus** 352.
Äpfelsäure 181.
aërob 67.
Aërobakter 46, 178.
Aërogenes-Bakterien im Darm 226.
— — im Dünger 318.
— — im Futter 215.
— — in Molkerei-Produkten 101, 252, 255,
285.
— — s. auch **B. aërogenes**.
aërophil 68.
aërophob 68.
Äther 121.
— **z. Boden-Desinfektion** 371.
Ätzkalk, Desinfektion 117.
— **Düngung** 344, 371.
Agar 95.
Agglutination 210.
Aggressine 205.
Aktinomyzeten 48.
— **Stickstoffbindung** 165, 169.
— **thermophile** 135.
Alanin 292, 293.
Alexine 208.
Algen, blaugrüne 166.
— **grüne** 170.
— **im Boden** 82.
— **Stickstoffbindung** 169.
Alinit 374.
Alizarol-Probe 246.
Alkohol 102, 121.
Alkohol-Bildung 180.
— **im Käse** 293.
— **in Milch** 255.
— **im Sauerfutter** 219.
— **Oxydation** 181.
— **-Probe** 246.
altmilchende Kühe, Beschaffenheit der Milch
258, 296.
Aluminium 57.
Ambozeptor 208.
Ameisensäure 178, 181, 255.
Amid-Assimilation 156.
— — **im Darm** 226.
— — **im Dünger** 324.
— **-Bildung** im Heu 216.
— — **im Käse** 288—291.
— — **im Sauerfutter** 219.
— **-Ernährung** 58.
Amidosäuren 292.
Ammon-Assimilation 156.
— — **im Boden** 361.
— — **im Darm** 226.
— — **im Dünger** 324.
Ammoniak-Bildung 148, 339.
— **Einfluß auf Nitrobakter** 153.
— **Einwirkung auf Stroh** 320.
— **-Ernährung** 58.
— **im Boden** 356—358.
— **im Dünger** 323.
— **im Käse** 288—291.
— **im Sauerfutter** 219.
— **Oxydation** 71, 158, 328.
— **-Verdunstung aus d. Boden** 356, 362.
— — **aus d. Dünger** 327.
Ammon-Karbonat als Stickstoffquelle 157.
— **Nitrit** 154, 158.
— **-Salze, fettsaure, Käsegeruch** 293.

Ammon-Sulfat, Düngungs-Effekt 345, 358,
363.
— -Verbindungen, Nitrifizierbarkeit 158,
358.
Amöben 48.
amylolytische Wirkung 178.
Anabaena 166.
anaerob 67.
anaerobe Bakterien im Boden 69.
— — im Darm 226.
— — im Dünger 318.
— — in Molkerei-Produkten 277, 291.
— — Kultur 97.
— — s. auch *B. amylobacter*, *putreficus*
usw.
Anaphylaxie 211.
Angriffsstoffe 205.
Anhäufungsform 284.
Anhäufungs-Versuch 97, 101, 338.
Anilinfarbstoffe 102.
Anpassungs-Fähigkeit 127.
— -Formen 165, 366.
Anreicherungs-Versuch 97.
Antagonismus 77, 108.
Antiaggressine 207.
Antiformin 118.
Antinonnin 120.
Antiseptis 105.
Antitoxine 206.
Antrocknen 67, 81.
Araka 180.
Arginin 292.
Aromabakterien in Butter 275.
— im Käse 293.
— in Milch 259.
Aromabildung 143.
Arsa 180.
Arsen-Wasserstoff 190.
Arthrosporen 42.
Artpulverisierung 46.
Asbestfilter 112.
Aschengehalt 52.
Asepsis 105.
Asparagin 59, 150.
Asparaginsäure 292.
Aspergillus 48, 71.
asporogene Rassen 41, 80.
Atmung 67—71.
Augenbildung im Käse 294.
Ausstrichpräparat 102.
Austrocknung 66, 80, 81, 111, 344.
Autan-Verfahren 120.
Autoklav 100.
Autolyse 141.
Automors 119.
autotroph 59.
avirulent 204.
Azidität der Butter 278.
— der Käse 287.
— der Kraftfuttermittel 224.
— des Lab-Aufgusses 61, 301.
— der Milch 61, 117, 251, 301.
— des Rahmes 61, 276.
Azotobacter 24, 32, 42, 46, 168.
— agile 169.
— Beijerinckii 169.
— chroococcum 71, 181, 169.
— Ernährung 57.
— Rassen 168.
— Stickstoffbindung 169.
— Verschwinden im Sommer 336
— Vinelandii 169.
— vitreum 169.
Azotifikation 146.
Azotogen 374.
Bacillus 44, 45.
Backstein-Käse 291, 301.
Bacterium 44, 45.
B.¹⁾ acidi lactici 177.
— — urici 151.
— aërogenes 177.
— — s. auch Aërogenes-Bakterien.
— amylobacter 24, 40, 168, 176, 179.
— — s. auch Buttersäure-Bazillen.
— anthracis 40, 45.
— asterosporus 40.
— Berestnewi 25.
— calfactor 135.
— casei 24—26.
— — s. auch Laktobazillen.
— — limburgensis 291.
— coli 70, 101, 150, 177, 202, 231.
— — s. auch Coli-Bakterien.

¹⁾ Die Arten-Namen der Genera *Bacillus* und *Bacterium* sind gemeinsam unter *B.* aufgeführt.

B. cyanogenes 131.
 — denitrificans 159.
 — Ellenbachensis 378.
 — erythrogenes 130, 132, 150.
 — extorquens 71.
 — fluorescens 70, 130—132, 150, 159, 231.
 — — s. auch Fluoreszenten.
 — fulvum 132.
 — Guentheri 177.
 — Hartlebi 71.
 — herbicola 215.
 — lactis 177.
 — — acidi 177.
 — — s. auch Milchsäure-Bakterien.
 — Malabarensis 24.
 — Megaterium 149.
 — membranaceus 45.
 — mesentericus 81, 131, 149.
 — — s. auch Kartoffelbazillen.
 — methanicus 185.
 — mycoides 74, 75, 140.
 — nitrobacter 152.
 — nobilis 304.
 — oligocarbophilus 185.
 — paracoli 46.
 — Pasteuri 150.
 — pneumoniae 25.
 — prodigiosum 70, 101, 130—132, 150.
 — proteus 148.
 — punctatum 258.
 — putidum 132, 159.
 — putrificus 40, 147, 148, 179.
 — pyocyanum 130, 231.
 — radicicola 24, 164.
 — — s. auch Knöllchenbakterien.
 — radiobacter 146, 159.
 — ramosus 74.
 — Stutzeri 159.
 — subtilis 40, 149.
 — — s. auch Heubazillen.
 — syncyaneum 131.
 — tetani 40.
 — tumefaciens 365.
 — vernicosum 66.
 — vulgare 70, 147—150.
 — — s. auch Proteus.
 — xylinum 52.

Bakterien-Blasen 37.
 — -Filter 112.
 — -Gifte 149.

Bakterien-Lampe 133.
 — -Niveau 36, 194.
 — -Platte 36, 194.
 — -Proteine 205.
 bakterizide Wirkung 87, 208, 237.
 Bakteroiden 25.
 Bank-Rotwerden 298.
 Bauernbutter 273.
 Baumwollsaat-Kuchen 224.
 Bearbeitung des Bodens 76, 342—344.
 Beggiatoa 195, 196.
 — mirabilis 19, 195.
 Beizen 32.
 Beleuchtungs-Apparat 103.
 Benutzung des Bodens 346.
 Benzoësäure 120, 318.
 Benzol zur Bodendesinfektion 371.
 Bergkiefer 166.
 BERKEFELD-Filter 112.
 Bernsteinsäure 181, 255.
 Bestrahlung der Milch 111.
 Betriebskontrolle in Molkereien 248, 261.
 Bewässerung des Bodens 344.
 Beweglichkeit 30.
 Bewegungsorgane 31.
 Biertreber 224.
 biologische Boden-Prüfung 337, 345.
 bittere Butter 280.
 bitterer Käse 296.
 bittere Milch 258.
 Blähung des Käses 296.
 — der Milch 248.
 blaue Milch 10.
 blinde Käse 294.
 Blut, bakterizide Wirkung 9, 87, 202.
 — Diagnose 209.
 — -Mehl 357.
 Boden-Bearbeitung 76, 342—344.
 — -Bewässerung 344.
 — -Brennen 107, 371, 378.
 — -Desinfektion 370—378.
 — -Fruchtbarkeit 336, 337.
 — -Gare 347, 353—355, 369.
 — -Impfung 373—375.
 — Keimgehalt 82, 333—337, 339.
 — Kohlenstoff-Umsatz 348—351.
 — -Lüftung 342.
 — -Müdigkeit 336, 346, 371.
 — -Nutzung 346.
 — -Reichtum 336.

Boden-Reinigung 370—373.
 — Stickstoff-Umsatz 353, 355—370.
 — Tätigkeit 387, 355.
 — Wassergehalt 64, 385, 359, 360, 362.

Borsäure 123.

Botulismus 40.

Bouillon 99.

Brache 346, 369.

Braunfleckigkeit der Kartoffeln 223.

Braunheu 86, 107.
 — -Bereitung 218.

Braunkohle 352.

Brennen des Bodens 107, 371, 373.

Briekäse 290, 292, 303.

Brot, Schleimbildung 180.

Bruch, Bearbeitung 300.

Buddisieren der Milch 122.

Büchsenbutter 273.

Büchsenmilch 110.

Bürsten 112.

Butter 268.
 — Aroma 275.
 — Fehler 277—281.
 — Keimgehalt 21, 268—278.
 — Papier 272.

Buttersäure 255, 292, 293.
 — -Bakterien 11, 179.
 — — im Boden 168.
 — — im Darm 226.
 — — im Dünger 313.
 — — im Futter 215.
 — — in Molkerei-Produkten 255, 280, 291.
 — — im Sauerfutter 219.
 — — s. auch *B. amylobacter*.
 — -Ester 279.

Buttersalz 269, 271, 277.

Butterschmalz 279.

Cadaverin 202, 292.

Caesalpiniaceen 367.

Calciumcyanamid 358.

Camembert-Käse 289, 290.

Ceanothus 166.

Cellulose s. Zellulose.

Centrosomen 28.

cephalotrich 32.

certified milk 240.

CHAMBERLAND-Kerze 112.

Cheddarkäse 284, 285, 289—292, 300, 301, 305.

chemische Dünger-Konservierung 331.
 — Käseriefung 305.
 — Klärung v. Abwasser 307, 309.

Chemotherapie 212.

Chilesalpeter, Wirkung im Boden 345.

Chinin 149.

Chitin 51, 148.

Chlamydosporen 42.

Chloroform 121.

Chlorkalk 118, 371.

Cholin 292.

Chorza 180.

Chromatinkörper 28.

Chromidien 28.

Cieddu 267.

Ciliaten 48.

Cladosporium butyri 277.

Clostridium 40, 45, 179.
 — gelatinosum 71.
 — — Pastorianum 168.

Coli-Bakterien im Darm 226.
 — — im Dünger 313.
 — — im Futter 215.
 — — in Molkerei-Produkten 101, 252, 255, 259, 285.
 — — s. auch *B. coli*.

Comptonia 166.

Conidien 34, 38.

Coulommiers 303.

Crenothrix polyspora 198.

Cyanamid 151, 357, 358.

Cyanophyceen 169.

Cycadeen 166.

Cysten 42, 80.

Dadhi 267.

Dämpfen des Bodens 108, 371, 373.

Dampftopf 100.

Dampf-Wirkung 81, 100, 110.

Dang 180.

Darmbakterien 225.

Darm-Milchsäure-Bakterien 177, 178.

Dauerformen 39, 79—81.

Dauer-Pasteurisation 108.

Dauerpräparat 102.

Deammonifikation 146.

Deazotifikation 146.

Dematium 47.

Denitrifikation 145, 146, 159, 174, 196.
 — im Boden 362.

Denitrifikation im Dünger 327.
 Deproteofikation 146.
 Desinfektion 105.
 — des Bodens 370—373.
 — des Düngers 109, 124, 318.
 — der Molkereiräume 128, 302.
 destilliertes Wasser, Keimgehalt 56.
 diastatische Wirkung 178.
 Dickdarm, Keimgehalt 87.
 Diffusions-Rückstände 176, 219.
 Diphtheriebakterien 25, 205.
 Disposition 202, 205, 250.
 Dizyandiamid 152.
 Doppelfärbung 40.
 Dosen-Milch 110.
 Drainröhren 197.
 Dünger-Bedarf des Bodens 345.
 — -Gase 318.
 — Keimgehalt 89, 310.
 — -Konservierung 329—332.
 Dünger-Rotte 314—332.
 — -Stätte 329.
 Düngung, Einfluß auf d. Boden 344, 345.
 — Einfluß auf d. Milch 90.
 Dünndarm 87.
 Durchlüftung des Bodens 72, 342—344.
 Edamer Käse 289, 290, 292.
 EHRLICH'S Seitenketten-Theorie 206, 208.
 Eier, Fäulnis 193.
 Einmieten v. Hackfrüchten 224.
 Einstäuern s. Sauerfutter.
 Einsalzen 122.
 Ein-Zell-Kultur 96.
 Eis-Bildung 72.
 Eisen 56, 197.
 — in Molkerei-Produkten 260, 278, 298.
 Eisen-Bakterien 197.
 — -Salze z. Erddesinfektion 371.
 Eiweiß-Abbau 147.
 — -Bildung 148.
 — -Ernährung 57.
 Ekto-Enzyme 140.
 — -Toxine 205.
 Elaeagnus 166.
 Elasticotropie 76.
 elektive Kultur 96.
 Elektrizität 75.
 Emmentaler Käse 284, 289, 290, 292—294,
 297, 298, 303.

Enantiose 77.
 Endo-Enzyme 140, 141.
 — -Sporen 42.
 — -Toxine 205.
 Energie-Verbrauch 125.
 Ensilage 218.
 Enteisung 197.
 Entwässerung 72.
 Enzyme 60, 116, 140—142.
 — -Reaktionen 248.
 Epiphyten 86, 214.
 Erde, Keimgehalt 88, 333—337, 339.
 Erd-Impfung 375.
 — -Nuß 367.
 — -Sterilisation 341.
 — -Stickstoff 358, 368.
 — -Versuche 340—343.
 Erepsin 148.
 Erhitzung der Milch, Nachweis 268.
 Ernte-Rückstände 344, 348.
 Erschütterung 76.
 Essigsäure 179, 181, 255.
 Euter, Keimgehalt 88, 229.
 — -Desinfektion 120, 128.
 — -Entzündungen 280.
 — -Reinigung, Einfluß auf die Milchkeime 232.
 Existenzbedingungen 53, 90.
 Exkreme, Ammoniakbildung 323.
 — Keimgehalt 87, 226, 311.

Fadenbildung 35.
 Fäces s. Exkreme.
 Färbemethoden 40, 51, 102.
 Fäulnis 138, 147, 176.
 — -Alkaloide 202.
 — der Kartoffeln 223.
 fakultativ anaerob 67.
 Farbstoffbildung 129.
 Farbstoffe 102.
 Faulkammer 307.
 Feldspat 190.
 Feld-Versuche 342.
 Fermentationstheorie 12, 311.
 Fermente 60.
 Festoform 120.
 Fett 28, 51, 182, 279.
 — -Bildung 293.
 — -Rückgewinnung 309.
 — -Veratmung 63.

Fett-Zersetzung 182, 258, 277—280, 292.
 Feuchtigkeit d. Bodens s. Wassergehalt d.
 Bodens.
 Feuchtigkeits-Bedarf 63.
 Filter-Körper 114, 308.
 Filtrieren der Luft 112.
 — der Milch 115, 262.
 — des Wassers 112—115.
 Firmitas 305.
 Fischguano, Phosphorlösung 188.
 fischige Butter 280.
 Fixieren 102.
 Flachs-Röste 175.
 Flagellaten 48.
 Flaschen-Reinigung 119, 261.
 Fleisch-Konserven 109.
 — -Mehl 357.
 — -Nährböden 99.
 Fliegen 236.
 Fluorammonium 119.
 Fluoreszenten im Darm 226.
 — im Dünger 318.
 — im Futter 215.
 — in Molkerei-Produkten 258, 259, 274, 277.
 — s. auch *B. fluorescens* und *B. putidum*.
 Formaldehyd 120, 371.
 Formamint 123.
 Formulsin 120.
 fraktioniertes Sterilisieren 100, 110.
 Fremd-Infektionen 100.
 Froschlaich 28.
 Frost-Wirkung 334.
 Fruchtbarkeit des Bodens 337.
 Frühjahrs-Maximum 334, 342, 359.
 Fuchsin 102.
 Fungi imperfecti 47.
 Furchenpacker 344.
 Futter, Einfluß auf Darm- und Kotflora 226.
 — — auf die Butterqualität 274.
 — — auf die Milch 91, 237, 259.
 Futtermittel, Keimgehalt 85, 213.
 Gärproben 248, 296, 301.
 Gär-Reduktase-Probe 248.
 Gärung 138, 139.
 Galaktase 291.
 Gallionella ferruginea 198.
 Gammelost 290, 303.
 Gare des Bodens 347, 353—355, 369.
 Gasbildung bei der Heubereitung 216.
 Gasbildung im Dünger 76, 318.
 — im Käse 298, 294, 296.
 — in Milch 255.
 Gefäß-Versuche 342, 343.
 Geißeln 31.
 Geißelzöpfe 32.
 Gelatine 95.
 Gemmen 42.
 Gemüse-Konserven 109.
 Generations-Folge 38.
 Gentianaviolett 102.
 Geotropismus 75.
 Gerinnen der Milch 250, 256, 257.
 Gerstenkorn 86.
 Geruch des Düngers 318.
 — des Käses 293.
 Gervaiskäse 285, 289.
 Geschmack der Butter 275.
 — des Käses 293.
 — der Milch 258, 259.
 Getreidesamen, Keimgehalt 86, 214.
 Gewächse, Keimgehalt 85, 213.
 Gewitter, Einfluß auf die Milch 257.
 Gift-Festigkeit 116, 206.
 giftige Stoffwechselprodukte 106, 149, 202.
 Giftigkeit 116.
 Gift-Werte 205.
 Gioddu 267.
 Gips 196.
 — -Blöcke 79.
 — -Platten 169.
 Gläsbildung 298.
 Glimmer 190.
 Glutaminsäure 292.
 Glykogen 28, 51.
 Glykokoll 292, 293.
 Glyzerin-Zersetzung 293.
 Gonidien 35.
 Gorgonzolakäse 289, 290.
 Gräber, Keimgehalt 84.
 Granakäse 304.
 Granulobacillus 46.
 Granulobacter 168, 176.
 Granulose 51.
 Grasbutter 274.
 Graspilze 215.
 Größe der Mikroorganismen 17—19.
 Gründüngung 161, 345, 348, 350, 357, 364,
 367.
 Grünfutter, Keimgehalt 214.

Grün-Preßfutter 218.
 Grundwasser 115.
 Grusavina 267.
 Guajakprobe 268.
 Guanidin 292.
 Güterkäse, schwedischer 289, 290, 301.
 Gußkulturen 93, 95, 388.

Hackfrüchte, Einmieten 224.
 — **Einsäuern** 223.
 — **Keimgehalt** 215.
hängender Tropfen 101.
Hämolsine 208.
Hagel, Keimgehalt 85.
Halogen-Naphtole 120.
Hamburger Apparat 108.
Handels-Dünger, organische 357.
 — **Milch, Keimgehalt** 240—248.
 — — **Klassifizierung** 240.
Handmelken 232.
Hanfröste 175.
haptophor 206.
Harn, Ammoniakbildung 323.
 — **Keimgehalt** 89, 311.
Harnsäure 151.
Harnstickstoff-Assimilation 156, 324.
Harnstoff-Bakterien 11, 150, 339.
 — **Zersetzung** 141, 150, 339.
Hartkäse 282.
Harzkäse 284, 289, 291.
Haushalt, Milchbehandlung 242.
Hefen, Alkoholbildung 181.
 — **in Butter** 274.
 — **in Käse** 286, 290, 291, 296, 300.
 — **in Milch** 255.
 — **in Rahmreifungskulturen** 276.
 — **im Salpeter** 302.
 — **Symbiose m. Milchsäure-Bakterien** 78, 181.
hefiger Geschmack 280.
Heidehumus 352.
Heinzen zur Heubereitung 217.
Heißluft-Sterilisator 100, 111.
Heliozoen 48.
Herbst-Maximum 334, 342, 359.
Heringslake 119.
heterotroph 59.
Heu 216.
 — **Bazillen** 40, 176.
 — — **im Darm** 226.

Heu-Bazillen im Futter 215.
 — — **in Molkerei-Produkten** 256, 274.
 — — **s. auch B. subtilis.**
 — **Bereitung, chem. Vorgänge** 216.
 — **Keimgehalt** 214, 217.
 — **Selbsterwärmung** 184—186, 217.
 — **Selbststerilisierung** 217.
 — **Wassergehalt** 64.
Hexenringe 38.
Hillhousia mirabilis 195.
Hippophaë 166.
Hippursäure 151.
Histidin 292.
Hitzeresistenz 73, 81.
Hochmoor 352, 359.
Hohe-Schicht-Kultur 97.
Holzgefäß 235, 272.
Hornmehl 357.
Humus 182, 183, 349.
 — **-Arten** 352.
 — **-Bildung** 182, 319, 352.
 — **reduzierende Wirkung** 155.
 — **-Zersetzung** 184, 352—355, 368.
 — **-Zusammensetzung** 352, 353.
Huslanka 267.
Hyperol 121.

Jahreszeit 77, 334, 342, 370.
Jauche, Aufbewahrung 330.
 — **Nitrifikation** 153, 326.
 — **Stickstoff-Wirkung** 324, 356.
Jaourt 266.
Immersion, homogene 103.
Immunität 205.
Impfung des Bodens 373—375.
 — **der Käse** 302—305.
 — **der Leguminosen** 374.
 — **des Sauerfutters** 221.
 — **des Stalldüngers** 331.
 — **Schutz- und Heilimpfung** 211.
Indol 294, 318.
Infektion 204.
Infusorien 48.
Inkubation 204, 251.
Insekten im Boden 355.
Involutionsformen 23.
Jogurt 266.
Johannisbrot-Baum 367.
Isolierung 94.

Kadaverin 202, 202.
Kälberdarm, Laktobazillen 226.
Kältereifung d. Käse 300.
Kältewirkung 72—74, 81.
Käse 282.
 — **Aroma** 193, 293.
 — **Azidität** 287.
 — **Fehler** 295—298.
 — **Impfung** 302—305.
 — **-Reifung** 286—294, 305.
 — **-Reifungskulturen** 303.
 — **-Vergiftungen** 202, 295.
 — **Wassergehalt** 64.
käsesauer 280.
Käsestoff, Zersetzung 257, 288.
Kalium 52, 56.
 — **-Bichromat** 118.
 — **-Permanganat** 118.
Kali-Umsetzung 187, 190.
 — **-Wirkung** 345.
Kalkmilch 117, 272.
Kalkstickstoff 151, 358.
Kalkung des Bodens 344, 353.
Kalzium 56.
 — **-Zyanamid** 358.
Kanada-Balsam 102.
Kaprinsäure 293.
Kapronsäure 292, 293.
Kaprylsäure 293.
Kapselbildung 28.
Karbolineum 120, 371.
Karbolsäure 119.
Karbonate 190.
karbonisierte Milch 117.
Karphococcus 46.
Kartoffel-Bazillen 81, 131, 176, 180.
 — — **im Darm** 226.
 — — **im Futter** 215.
 — — **in Molkerei-Produkten** 256, 274.
 — — **s. auch B. mesentericus**.
 — **-Fäule** 223.
 — **-Flocken** 111.
 — **-Keimgehalt** 215.
 — **-Mieten** 224.
Katalase-Probe 247, 271, 338.
Kautschuk 193.
Kefir 265.
Keimfrei-Machen 106.
Keimgehalt des Bodens 82, 333—337, 339.
 — **der Butter** 21, 269—274.
 — **Keimgehalt des Darms** 86.
 — **des Düngers** 89, 310—318.
 — **der Futtermittel** 85, 213.
 — **des Käses** 21, 282—286.
 — **des Labes** 283.
 — **der Luft** 85.
 — **der Milch** 21, 34, 87, 240—248, 261.
 — **des Wassers** 84.
Keimkraft, Schädigung 214.
Keimling, Mikroflora 214.
Keimung d. Sporen 41.
Kern 28; 29.
Kettenbildung 33.
Kiesel-Fluorwasserstoff-Säure 117.
Kieselgallerte 152.
Kieselgurfilter 112.
Kiesel säure und Kohlensäure 191.
Kiesfilter 114.
Kindermilch, Gewinnung 262.
 — **Sterilisierung** 109.
Kirchhofserde, Keimgehalt 84.
Klatschpräparat 38.
Kleie, Selbsterhitzung 134.
Knochenmehl 189, 357.
Knöllchenbakterien 25, 32, 40, 162, 164.
 — **systematische Stellung** 165, 366.
 — **Züchtung** 164.
Koch-Apparate 109.
Kochsalz 65, 119.
Körnchenbazillus 29.
Körner, Wassergehalt 64.
Körperpflege der Kühe und Keimgehalt der Milch 87.
Kohle-Bildung 172, 352.
 — **Selbsterhitzung** 134—136.
Kohlenhydrat-Ernährung 29.
 — **-Umsetzung** 173.
Kohlenoxyd 59, 185.
Kohlensäure-Assimilation 59, 184, 196, 198.
 — **-Bildung im Boden** 348—350.
 — — **im Dünger** 318.
 — — **im Käse** 293, 296.
 — **-Wirkung im Boden** 188—191, 354, 355.
 — **zur Konservierung** 117.
Kohlenstoff, Einfluß auf die Stickstoff-Umsetzungen 139, 170, 361.
 — **-Kreislauf** 171.
 — **-Quellen** 59.
 — **-Umsatz im Boden** 348—351.

Kohlenstoff-Umsatz im Dünger 315—321.
 Kokken 18.
 Kollodium-Filter 113.
 Kolonien 36, 78, 93.
 Kolostrum 296.
 Komma-Bazillen 22.
 Komplement 208.
 Kompost 373.
 Konidien 34, 36.
 Konserven-Bereitung 109.
 Konservierungsmittel 115, 124.
 Kontaktinfektionen bei der Butterbereitung 269.
 — bei der Käsebereitung 283.
 — bei der Milchgewinnung 235.
 Konzentration von Lösungen 65.
 Koproolithen 84.
 Kosmopolitismus der Bakterien 82.
 Kot-Bakterien 87, 311.
 — -Zersetzung 322.
 — s. auch Exkremeante.
 Kräuterkäse 291.
 Kraftfuttermittel, Keimgehalt 215.
 — Ranzidität 224.
 — Wassergehalt 63.
 — Zersetzung 63.
 Krankheits-Erreger 200.
 — — in Butter 274.
 — — in Dünger 318, 321.
 — — in Käse 295.
 — — in Milch 244.
 Kreide-Agar 249.
 Kreislauf der Mikroorganismen 90.
 — des Stoffes 4, 90.
 Kreoliu 119.
 Kreosot 119.
 Kronen-Gallen 365.
 Krümelstruktur 354.
 kryophil 73.
 Kühlen der Milch 238.
 Kühlräume 53, 257, 277, 284.
 Kuhkot, Keimgehalt 87.
 Kulturgewächse und Bodenflora 346.
 Kumiß 264.
 Kunstlab, Keimgehalt 283.
 Kupfersulfat 118.

Lab-Aufguß 283.
 — — Azidität 61, 801.
 — -Enzym 291.

Lab-Enzym bei Bakterien 148, 256.
 — -Gärproben 248.
 — -Käse 282.
 — -Magen, Keimgehalt 87.
 — -Wirkung 291.
 Laboratoriums-Rassen 54, 126.
 Lab-produzierende Bakterien 148, 256.
 — -Pulver, Keimgehalt 283.
 — -Tabletten, Keimgehalt 283.
 lad-tönige Käse 296.
 Laktobazillen 46, 178, 179.
 — in Butter 280.
 — in fermentierter Milch 264—268.
 — in Käse 285, 290.
 — in Magen und Darm 226.
 — in Milch 253.
 — im Sauerfutter 181.
 — s. auch *B. casei*.
 Lakto-Pilze 221.
 Laktose-Hefen 255.
 Landröste 176.
 lange Wei 180.
 Langstäbchenförmige Milchsäurebakterien 46.
 Laterit 353.
 Laub, Kohlensäure-Bildung 350.
 — Selbsterhitzung 135.
 Lebben 267.
 Lebensbedingungen 53.
 Leguminosen 367.
 — -Impfung 374.
 — -Kalkbedarf 367.
 — -Stickstoffbindung 8, 14, 161, 363—365.
 — -Wurzelknöllchen 363—366.
 Leichengifte 202.
 Lein s. Flachs.
 Leitororganismen 335.
 Lepargyreia 166.
 Leptothrix ochracea 198.
 Leuchtbakterien 183.
 Leuconostoc 28, 180.
 Leukine 208.
 Leukozyten 207, 244.
 Leuzin 292.
 Lezithin 188.
 Licht-Erzeugung 133.
 Licht-Wirkung 74.
 Limburger Käse 289, 291.
 Limonade, Keimgehalt 84.
 Linksmilchsäure 255.
 Lipasen 277.

Lipasen in Samen 224.
 Liptauer Käse 289.
 Lochbildung im Käse 294.
 Lockerung des Bodens durch Erdorganismen 354.
 lophotrich 32.
 Luft-Druck 70.
 — -Elektrizität 257.
 — Keimgehalt 85, 236, 271.
 Lysin 292.
 Lysoform 120.
 Lysol 120.
 Magen, Keimgehalt 86, 87.
 Magnesium 56.
 Maja 266.
 Mais-Silage 218.
 Maische 221.
 Mallein 205.
 Mangan 57, 61, 197, 371.
 Margarine 274.
 Marktmilch, Keimgehalt 88, 241.
 — Klassifizierung 246.
 — Pasteurisierung 263.
 Maschinen-Melken 234.
 Mastigophoren 48.
 Mastitis 230.
 — -Milch 297.
 — -Streptokokken 22, 244.
 Maturin 305.
 Maul- und Klauenseuche 121, 244.
 Maximalzahlen f. Milch 241.
 Mazun 267.
 mechanische Erschütterungen 76.
 Medicago-Samen 81.
 Melheimer 234, 236.
 Melken, Einfluß auf den Keimgehalt der Milch 232.
 Melkmaschine, Behandlung 112, 119, 120, 193, 234.
 Membran 27.
 Menschenfäces, Keimgehalt 310.
 Merkaptan 194.
 Metallgefäß 235, 272, 278, 298.
 metatroph 59.
 Methan 59, 185, 318, 348.
 — -Bazillus 174.
 Methodik, bodenbakteriologische 337—342.
 Methylenblau 70, 102.
 — -Reduktion 70, 246.

Mezzoradu 267.
 Micrococcus 44.
 — acidi paralactici 45.
 — casei liquefaciens 290, 291.
 — lactis acidi 177.
 — pituitoparus 46.
 — pyogenes 230.
 mikroaërophil 68.
 mikroskopische Untersuchung 101.
 mikroskopische Zählung 92, 388.
 Mikrosol 118.
 Milch, Alkoholgehalt 255.
 — Aufbewahrung 237.
 — Azidität 251.
 — Bakterizidie 237.
 — blaue 131.
 — Disposition 250.
 — -Enzyme 248.
 — -Fäulnis 250, 258.
 — Farbstoffbildung 131, 260.
 — -Fehler 250, 260.
 — Fettzersetzung 258.
 — -Filter 262.
 — Gärproben 248.
 — Gärreduktaseprobe 248.
 — -Gerinnung 250, 256.
 — Geschmack und Geruch 258, 259.
 — Haltbarkeit 248.
 — Inkubations-Stadium 251.
 — karbonisierte 117.
 — Katalaseprobe 247.
 — keimarme 88, 230, 240, 262.
 — keimfreie 13, 230.
 — Keimgehalt 21, 33, 73, 87, 240—248, 261.
 — — und Schmutzgehalt 243.
 — Koagulierung 250, 256.
 — -Kochapparate 109.
 — Kochgeschmack 263.
 — kondensierte 65.
 — Krankheits-Übertragung 244, 264.
 — Kühlen 238.
 — Leukozytenprobe 244.
 — pasteurisierte 74, 263.
 — pathogene Keime 244.
 — Peptonisierung 258.
 — Reduktionsprobe 70, 246.
 — rote 131.
 Milchsäure-Bakterien 11, 40, 89, 177.
 — — im Darm 226.

Milchsäure-Bakterien im Dünger 313.	Mycoderma 47.
— — im Futter 215.	— casei 291.
— — in Molkerei-Produkten 252, 264, 274, 285.	Mykorrhizen 166.
— — im Sauerfutter 219.	Myrica 166.
— -Bildung 184, 249, 251.	Myxobakterien 313.
— -Mikrokokken 178.	Myxomyzeten 313.
— -Streptokokken 22, 178.	Myzel 26.
— Zersetzung 181, 249.	Nachwärmnen der Käse 107, 300.
Milchschimmel 17.	Nährböden 98.
Milch, Schleuderprobe 244.	Nährlösungen 97, 339.
— schleimige 260.	Nährstoff-Bedarf des Bodens 345.
— Schmutz- und Keimgehalt 243.	Nahrung 54—60.
— Sterilisieren 109, 124, 257.	Naßfäule der Kartoffeln 223.
— Stickstoffumsetzungen 256.	Naßmelken 233.
— Verfärbungen 181, 260.	Natriumhydrosulfit 97.
— Zentrifugieren 76, 262.	Natronlauge 118.
— -Zucker 178, 251, 287.	Naturlab 283.
Milzbrandbazillus 40, 80.	Neuland, Kultivierung 334, 367.
Milzbrandsporen, Resistenz 40.	Niederungsmoor 352.
Mimosaceen 367.	Nikotin 149.
Mineralisierung 147.	Nißlerkäse 297.
Mineralstoff-Bedarf 56.	Nitragin 374.
— -Gehalt 52.	Nitrat-Assimilation 156, 160, 361.
— -Umsetzung 187.	Nitratbildner 152.
Mineralwasser, Keimgehalt 84.	Nitrat-Reduktion 155.
Mischkolonie 39, 94.	Nitrat-Vergärung 70.
Mischkulturen 108.	Nitrifikation 75, 76, 152, 339, 360.
Mist s. Stalldünger.	— des Humusstickstoffs 353.
Modifikation 128.	— des Mikrobenstickstoffs 157.
Molekular-Bewegung 30.	— im Boden 356—360.
Molken, zur Sauerfutterbereitung 221.	— im Stalldünger 325.
— zur Dünger-Konservierung 332.	Nitritbildner 152.
Molkerei-Abwässer 305—309.	Nitrite im Boden 359.
— -Gerätschaften, Behandlung 110, 261, 272.	— in der Luft 153.
— -Räume, Desinfektion 123, 271, 302.	Nitrobacter 152.
Monas 10.	Nitrobacterine 374.
monotrich 32.	Nitrobakterien 146.
Montanin 117.	Nitroculture 374.
Moor-Boden 153, 155, 167, 344.	Nitrosomonas 152.
— -Gräben 197.	Nomenklatur 45, 146.
— -Humus 852.	Nostoc 166.
Morbizid 120.	Nüßlerkäse 297.
Morphin 149.	Nukleoproteide 51, 188.
Mucor 47, 135.	Nutzung des Bodens 346.
Müdigkeit des Bodens 336, 346, 371.	Oberflächen-Erneuerung 76, 343.
Mutation 128.	Ödem-Bazillus 40.
Muttersäure 271.	Öl zur Jauchekonservierung 330.
Mycobacteriaceen 48, 165.	ölige Butter 280.

Ölküchen 214.
 Ölweiden 166.
 Oidien 17.
 Oidium 47.
 — *camemberti* 291.
 — *lactis* 17, 47, 291, 318.
 Omeire 268.
 Oospora 47.
 Opsonine 208.
 Ortstein 197.
 Oxalsäure 181.
 Oxydations-Verfahren 308.
 Oxydierbarkeit der Abwässer 309.
 Oxyphenyläthylamin 292.
 Ozon 122, 257.
 Pansen 86.
 Papier, Einfluß auf die Butter 272.
 — Zersetzung 351.
 Papilionaceen, Stickstoffbindung 8, 14, 367.
 Paraffinieren der Käse 301.
 Parasiten 55.
 Paraphenyldiamin-Probe 263.
 Parmesankäse 304.
 Pasteurisieren 105.
 — der Käseemilch 108, 302.
 pasteurisierte Handelmilch 107, 108, 263.
 pathogene Keime 200.
 — — in Butter 274.
 — — im Dünger 313, 321.
 — — im Käse 295.
 — — in Milch 244.
 Pavetta 166.
 Pektinzersetzer 175.
 — im Darm 226.
 — im Dünger 313, 316.
 — im Futter 215.
 Penicillium 48.
 — *brevicaule* 190.
 — *glaucum* 70, 71.
 Penizillien, Käseriefung 290.
 — Stickstoff-Bindung 166.
 Pentosan-Zersetzung 316.
 Pepsin 148.
 Peptonisierung d. Milch 258.
 Peptonzersetzung 339.
 Pergenol 121.
 Perhydrasemilch 122.
 Perhydrrol 121.
 Perithezien 36.
 Petrischale 37.
 Pferdedünger 322.
 Pflanzen, Einfluß auf d. Bodenbakterien 346.
 — Keimgehalt 85, 218.
 Phagozyten 207.
 Phenazetursäure 322.
 Phenol 119, 318.
 Phenylalanin 292.
 Phoma 166.
 Phosphate 189, 345.
 Phosphatide 188.
 Phosphor 52, 56.
 — -Umsetzungen 187, 188.
 — -Wasserstoff 190.
 physikalische Bodenbeschaffenheit, Beeinflussung durch Erdorganismen 354.
 Phytime 188.
 Pigmentbildung 129.
 Pilze 47.
 — im Dünger 313.
 — Stickstoffbindung 166, 168, 169.
 Pinus montana 166.
 Plakine 208.
 Plasmolyse 10, 30.
 Plasmoptysen 10, 30.
 Platin-Nadel 100.
 Plattenkultur 95.
 Platte, Schwefelbakterien 194.
 Plectridium 40, 45, 179.
 — *pectinovorum* 176.
 Podkwassa 266.
 Podocarpineen 166.
 Pökeln 122.
 Polymorphismus 22.
 Porzellan-Emaillefarben 123.
 — -Filter 112.
 Präservesalze 115.
 Präzipitine 210.
 Pressen, Einfluß auf d. Käse 282.
 Preßlerkäse 296.
 Propionsäure 179, 181, 293.
 — -Bakterien 179, 301.
 Proteofikation 146.
 Proteus 10, 75.
 — im Darm 226.
 — im Dünger 313.
 — s. auch *Bact. vulgare*.
 Protoplasma 29.
 prototroph 59.
 Protozoen 17, 29.

Protozoen, Beweglichkeit 31.
 — Enzystierung 42, 80.
 — im Boden 66, 82, 335.
 — im Dünger 313.
 — Systematik 48.
 — Vermehrung 36.
 Pseudo-Diphtheriebazillen 204.
Pseudomonas 45.
 — *radicicola* 164.
 Pseudopodien 31.
 Pseudoramifikation 26.
 Pseudo-Tuberkelbazillen 204, 215.
 psychrophil 73.
 Ptomaine 202.
 Purpurbakterien 132, 194.
 Putreszin 202, 292.
 Putzen 112.
 Putzstaub, Keimgehalt 87.
 Pyrogallol 97.
 Pyrrolidinkarbonsäure 292.
 Quecksilberchlorid 118.

Rab-System 107.
 Radiumstrahlen 75.
 Räuchern 122.
 räß-salzig 258.
 Rahm, abnorme Konsistenz 260, 280.
 — chemische Behandlung 276.
 — Keimgehalt 269.
 — Pasteurisierung 108, 274.
 — Reifungskulturen 270.
 — Säuerung 270, 276.
 — Selbsterwärmung 134.
 Ramie 175.
 Ranzidität der Butter 277—279.
 — der Futtermittel 224.
 ranzige Milch 258.
 Ranzigwerden 182, 279, 292.
 Rapskuchen 224.
 Raseneisenerz 197.
 Raubbau 346.
 Raum-Desinfektion 120, 123.
 Rauschbrand-Bazillus 40, 205.
 Reaktion 60.
 Rebenmüdigkeit 371.
 Rechtsmilchsäure 255.
 Reduktionsprobe 70, 246.
 Regen, Keimgehalt 85.
 — Stickstoffgehalt 167.

Regenerationsformen 34.
 Regenwürmer, Tätigkeit im Boden 188, 355.
 Reifung d. Käses 286—294.
 — der Milch 299.
 — des Rahmes 270.
 Reifungszentren 284.
 Reinigung v. Molkerei-Abwässern 305—309.
 Reinkultur 94, 100, 103.
 Reinkulturen zur Bodenimpfung 378.
 — z. Joghurt-Bereitung 267.
 — z. Kässereifung 303.
 — z. Leguminosenimpfung 374.
 — z. Rahmreifung 270.
 — z. Sauerfutterbereitung 221.
 Reinzucht, natürliche 97.
 Reismehl 224.
 Reiter zur Heubereitung 217.
 Reizstoffe 61, 373.
 REMYSche Methode 339.
 Reservestoffe 28.
 Resistenz d. Sporen 80.
 Rezeptor 206.
Rhamnaceen 166.
Rhizobium 165.
 Rhizopoden 48.
 Rhizosphäre 346.
 Rieselfelder, Keimgehalt 335.
 — Müdigkeit 336.
 — z. Reinigung v. Molkerei-Abwässern 306.
 Riesenkolonie 38.
 Rindenpflege d. Käse 301.
 Rinder-Dünger 322.
 — -Kot, Keimgehalt 310, 311.
 Röntgen-Strahlen 75.
 Röste der Textilpflanzen 175.
 Rötung der Käse 132, 291, 298.
 Roggenkorn 86.
 Rohkultur 94, 97.
 Rohphosphate, Aufschließung 189.
 Rohrzucker 178.
 Roquefortkäse 289, 290, 292, 301, 303.
 ROTHENFUSSERSche Probe 263.
 Rotte s. Flachs-, Hanf- u. Düngerrotte.
Rubiaceen 166.
 Rüben, Atmung 71.
 — -Blätter, Einsäuern 181.
 — -Fäule 224.
 — -Geschmack der Molkereiprodukte 259, 280.
 — Keimgehalt 215.

Rüben-Schnitzel 176, 219.
 Rübenkuchen 63.
 Rückgewinnung d. Fettes 309.

Saccharomyzeten 47.
 Sägespäne-Einstreu 327.
 Säuerungskulturen 221, 267, 270, 303.
 Säuglings-Fäces, Laktobazillen 226.
 Säurebildung 176—181.
 — im Dünger 315, 318, 332.
 Säurefestigkeit 52.
 Säuregrad d. Käse 287.
 — d. Labaufgusses 61, 301.
 — d. Milch 61, 117, 251, 301.
 — d. Rahmes 61, 276.
 Säure-Lab-Bakterien 256.
 — — -Kokken 178, 231, 290.
 Säuren im Käse 287, 288.
 — flüchtige im Käse 288, 292, 293.
 — organische 173.
 Säure-Prüfung der Milch 246.
 — -Wecker 270.
 — -Wirkung 116.
 — -Zersetzung 181.
 — -Zusatz z. Jauche 332.
 Salicylsäure 120.
 Salpeter als Stickstoffquelle 58, 361, 363.
 — -Assimilation 156, 160, 361.
 — -Bakterien 152, 339.
 — -Bildung 152, 339, 356—360.
 — Keimgehalt 302.
 — -Pilz 23.
 — -Reduktion 155.
 — -Zersetzung 339.
 — -Zusatz z. Käse 70, 302.
 salpetrige Säure 158.
 — — im Dünger 327.
 Salvarsan 212.
 Salz-Bad 301.
 — Einfluß auf die Butter 271.
 — — auf den Käsegeschmack 294.
 — — — auf die Konsistenz des Käses 300.
 — — — auf die Propionsäurebakt. 301.
 — konservierende Wirkung 65, 119.
 — -Steine im Käse 294.
 — -Zusatz zum Heu 217.
 Samen, Keimgehalt 86, 214.
 — Resistenz 81.
 Sammel-Molkereien 108.
 Sanatol 119.

Sandfilter 114.
 Saprophyten 55.
 Sarcina 26, 33, 44.
 — lutea 70.
 Sarkodinen 48.
 Sauberkeit 88.
 Sauer-Futter 117, 176, 219.
 — Keimgehalt 86.
 — -Kraut 117.
 — -Milch 117, 264—268.
 — — -Käse 282.
 — -Rahmbutter 269, 273.
 Sauerstoff-Bedarf 67.
 — Einfluß auf Amid- und Ammonassimilation 324.
 — — auf die Butter 279.
 — — auf die Milchsäuerung 253.
 — Grenzwerte 70.
 saure Böden, Nitrifikation 359.
 — — Phosphatlösung 189.
 — Gurken 117.
 — Milch 89, 117.
 Schabzieger 291.
 Schafdünger 322.
 Scheidenbildung 28.
 Scheideschlamm 81.
 Scheuern 112.
 Schimmelpilze 26.
 — im Boden 82, 345, 354.
 — im Dünger 313.
 — im Futter 63, 215, 217.
 — in Molkerei-Produkten 257, 274, 277, 286.
 — Pektin-Zersetzer 176.
 — thermophile 135.
 Schimmelpilz-Sporen in Luft 85.
 Schizomyzeten 33.
 Schizosaccharomyzeten 48.
 Schlagsahne 260.
 schleimbildende Bakterien 180.
 — — auf Käse 298.
 Schleimhülle 27.
 Schleimigwerden des Brotes 180.
 — der Milch 27, 180, 260.
 — der Zuckersäfte 28, 180.
 Schleuderprobe 244.
 schmetterlingsblütige Gewächse, Stickstoffbindung 8, 14, 367.
 Schnee 85.
 Schutzimpfung 211.
 Schwarzbrache 346.

Schwarzerde 354.
 schwedischer Güterkäse 289, 290, 301.
 Schwefel 56.
 — -Ammon 193.
 — -Bakterien 192, 194.
 — -Blüte gg. Kartoffelfäule 224.
 — -Eisen 185.
 — -Kohlenstoff 371.
 — -Kreislauf 192.
 — -Säure, Bildung 192.
 — — z. Desinfektion 117.
 — -Wasserstoff 71, 192.
 Schweine-Dünger 322.
 Schwerkraft 75.
 Schwitzen des Heues 107, 217.
 scoring system 241.
 seifiger Geschmack der Milch 258.
 Seitenketten-Theorie 206, 208.
 sekundäre Kolonien 39.
 Selbstantzündung 134, 136.
 Selbsterhitzung 73, 108, 134—136.
 Selbstreinigung des Wassers 74.
 Selbststerilisierung des Düngers 109.
 — des Dünndarmes 87.
 — des Heues 107, 217.
 Selbsttränken, Keimgehalt 237.
 Senf 370.
 Serradella 375.
 Serum-Therapie 211.
 Sexualprozesse 35, 36.
 Sickerwasser 167, 363.
 Silage 218—220.
 Silbersalze 118.
 Silikate 190.
 Silizium 57.
 Skatol 318.
 Sodalösung 117.
 Sojabohne 367.
 Sommer-Minimum 334, 336.
 Sonnenlicht, Einwirkung auf das Fett 258, 279.
 — — auf den Impferfolg 75.
 — — auf die Salpeterbildung 76.
 Soyka-Flasche 38.
 Spaltalgen 48.
 Spaltpilze 33.
 Speckschicht 290.
 spezifisches Gewicht d. Bakterien 53.
 Spirillen 18.
 Spirillum 44.
 Spirillum colossus 19.
 — parvum 19.
 Spiritus 121.
 Spirobacillus gigas 19.
 Spirochaeten 17, 44.
 Sporangien 35.
 Sporen 28, 35, 39, 79—82.
 — -Bildung 39, 79.
 — Doppelfärbung 40.
 — -Keimung 41, 80.
 — -Träger 35.
 Sporoziten 36.
 Sproßpilze 26, 35.
 — Alkoholbildung 181.
 — in Butter 274.
 — im Käse 286, 290, 291, 296, 300.
 — in Milch 255.
 — in Rahmreifungskulturen 276.
 — in Salpeter 302.
 — Symbiose mit Milchsäurebakterien 78, 181.
 Stärke, Umsetzung 176, 178, 369, 370.
 Stall, Keimgehalt 88, 89, 236.
 Stalldünger als Impfmaterial 334, 373.
 — Desinfizierung 124.
 — Gasbildung 76.
 — Humusbildung 319, 348.
 — Keimgehalt 89, 310—318.
 — Konservierung 329—332.
 — Nitrifikation 153, 325, 357.
 — Selbsterhitzung 109, 320.
 — Stickstoffverluste 158, 327.
 — Wassergehalt 64.
 — s. auch Exkremeente.
 Stallmist-Düngung, Einfluß auf die Bodenflora 90, 311, 334, 345.
 — -Wirkung 90, 187, 356, 357.
 Standard-Nährböden 99.
 Standorts-Varietäten 90.
 Staphylokokken 47, 230.
 Staub 67.
 Steinkohle 352.
 Sterilisieren 100, 105.
 — des Düngers 109, 119, 124.
 — der Erde 124, 370—373.
 — fraktioniertes 100, 110.
 — der Molkerei-Gerätschaften 110, 111, 118, 120, 124, 262.
 — der Milch 109, 124, 257.
 — des Wassers 111, 118, 124.

- Stichkultur 67.
- Stickoxyd 159.
- Stickoxydul 159.
- Stickstoff, Assimilation 58, 161, 363.
 - Bindung 8, 161—170.
 - — im Boden 15, 167, 338, 363—370.
 - — Entbindung 158, 326—329, 361—363.
 - Gehalt 50.
 - Gewinne 167, 364, 368—370.
 - Kreislauf 148.
 - Quellen 57.
 - Sammler 163, 367.
 - Umsetzungen im Boden 353, 355—370.
 - — im Dünger 322—329.
 - — im Käse 288—292.
 - — in Milch 256—258.
 - Verluste 158.
 - — bei der Nitrifikation 154, 359, 360.
 - — im Boden 361—363.
 - — im Dünger 158, 326.
 - — im Sickerwasser 167, 363.
 - — Wirkung 187, 312, 355—358.
- Stiltonküse 290.
- Stoff-Ansatz 125.
 - Kreislauf 4.
 - Wechsel-Produkte, giftige 106.
- Stoman 123.
- STORCHsche Probe 263.
- Streptococcus 44.
 - acidi paralactici 45.
 - lactis 177.
 - pyogenes 231.
- Streptokokken 22.
 - der Milch, Pathogenität 244, 245.
 - im Euter 231.
 - in Magen und Darm 226.
 - und Leukozyten in Milch 245.
 - s. auch Milchsäure-Streptokokken.
- Streptotrichen 48.
- Streu, Keimgehalt 89, 311.
 - Zersetzung 323.
- strömender Dampf 100, 109.
- Stroh, Keimgehalt 214.
 - Kohlensäure-Bildung 350.
 - Wassergehalt 64.
- Strychnin 149.
- Sublimat 118.
- Süß-Ensilage 218.
- Süßrahmbutter 269, 273.
- Sulfate 70, 192.
 - Sulfate, Assimilation 198.
 - Bildung 192.
 - Reduktion 196.
 - Sulfit-Ablange 370.
 - Sumpfgas 185, 348.
 - Symbiose 77, 103.
 - v. Aëroben und Anaëroben 69.
 - v. Fettzersetzern 279.
 - v. Käsebakterien 291.
 - v. Milchsäurebakterien u. Hefen 78, 181.
 - v. stickstoffixierenden Bakterien und Algen 78, 170, 368.
 - — — und höheren Pflanzen 163—167, 366.
 - System 42—49.
- Tabak-Fermentation 134—136.
- Tätigkeit des Bodens 337.
- Tättemjölk 268.
- taliges Fett 279, 280.
- Taryk 267.
- Tauvette 176.
- Teer 120.
- Temperatur 72—74, 80, 81, 107.
- Temperaturen im lagernden Dünger 320.
- teratologische Wuchsformen 24.
- tertiäre Kolonien 39.
- Tetanus-Bazillus 40, 205.
- Tetraede 33.
- Tetradiplococcus 46.
- thermogen 135.
- thermophile Mikroorganismen 78, 135.
- Thiobacillus denitrificans 196.
- Thiobakterien 194.
- Thiospirillum Winogradskii 19.
- Thiosulfat-Umsetzung 193, 196.
- Thymol 120.
- Tieffenkolonien 38.
- Tiefpflügen 344.
- Tiefstalldünger 329.
- Tilsiter Käse 302.
- Toluol 371.
- Torf-Mull gegen Kartoffelfäule 224.
 - Selbsterhitzung 134.
 - — Streu 325, 327.
- Torula 47.
- Toxine 205.
 - im Boden 371.
 - Zersetzung 149.
- toxophor 206.

Tränen des Käses 294.
 tranige Butter 280.
 Traubenzucker-Agar 99.
 Trinkmilch, Gewinnung 261, 262.
 Trinkwasser, Keimgehalt 84.
 — Sterilisierung 111—115.
 Trivialnamen 46.
 Trockenfäule der Kartoffeln 223.
 Trockenfutter 216.
 Trockenmelken 233.
 Trockenkulturen 67.
 — z. Jourt Bereitung 267.
 — z. Käseriefung 303.
 — z. Leguminosenimpfung 374.
 — z. Rahmreifung 270.
 Trockenmilch 111.
 Trockenstrank 100, 111.
 Trockenstarre 66.
 Trockensystem 102.
 Trocknen 67, 80, 81, 86, 111.
 Tröpfchen-Kultur 96.
 TROMMSDORFFs Schleuderprobe 244.
 Tropfen, hängender 101.
 Tropfkörper 308.
 Trypsin 148.
 Tryptophan 292.
 Tuberkelbakterien 25, 51.
 — in Milch 244.
 Tuchfilter 262.
 Tnsche-Ausstrichpräparat 102.
 Tuschepunkt-Kultur 96.
 Typhuskeime in Milch 244.
 Tyrogen 304.
 Tyrosin 292, 294.
 Tyroxin 202.
 Tyrothrix 291.
 Tyrotoxicon 202.
 Ultramikroorganismen 19.
 Ultramikroskopie 19, 29.
 Ultraviolette Strahlen 75, 111.
 Umsatz 125.
 Umsetzungsversuche 339—341.
 Universal-Apparat 108.
 Unkrant 344, 346.
 Untergrund, Keimgehalt 84, 343.
 — Lockerung 344.
 Urease 141, 150.
 Urobazillen 46, 150.
 Urzeugung 11.
 Uviolmilch 111.

Valeriansäure 293.
 Variabilität 53, 126.
 Verbreitung der Mikroben 82—90.
 Verdauung und Darmbakterien 225.
 Verdauungstraktus, Keimgehalt 86.
 Verdünnungs-Methode 92, 94, 338.
 Verluste bei der Düngerotte 185, 315, 326.
 Vermehrung 33, 34, 74.
 Vermoderung 138.
 Verschimmeln d. Butter 280.
 Verträglichkeit d. Nutzpflanzen 346.
 Verwesung 138.
 Verwitterung 187.
 Verzweigungen 25, 26.
 Vibrio 10, 44.
 Viktoriablau 102.
 Vindobona-Pülpe 221.
 Virulenz 142, 204.
 Volutin 51.
 Vorfluter 306.
 vorzeitiges Gerinnen 257.
 Vorzugsmilch, Gewinnung 261, 262.
 — Keimgehalt 240, 242.
 Wärme-Produktion 133, 320.
 Wald-Streu 352.
 Wandastriche 123.
 Warmwasserröste 176.
 Waschlauge 122.
 Wasser-Bedarf 63.
 — -Behandlung mit Chemikalien 118.
 — Bestrahlung 111.
 — destilliertes 56.
 — -Gehalt d. Bodens 335, 359, 360, 362.
 — — d. Düngers 64.
 — — d. Kraftfutters 63.
 — — d. Mikroben 50.
 — -Kapazität 64, 65, 74.
 — Keimgehalt 56, 84, 236, 271.
 — -Leitungen 197.
 — Ozonisierung 122.
 — -Reinigung 112—115, 305—309.
 WASSELMANNsche Reaktion 209.
 Wasserstoff 71, 186, 318, 348.
 — -Bazillus 174.
 — flüssiger 72, 81.
 Wasserstoffsuperoxyd 121.
 Wasserwerk 114.
 Wattefilter 112.
 Watteverschluß 99.

<p>Wei, lange 180. Weichkäse 282. — aus pasteurisierter Milch 302. — Keimgehalt 285, 286. — Reifungskulturen 303. — Rotfärbung 182, 291. — Speckschicht 290. — Zerfließen 288. Weinsäure 181. WIDALSche Reaktion 210. Widerstandsfähigkeit d. Sporen 80. Wiederkäuer, Darmflora 225. Winterbutter 274. Winterkälte, Wirkung 72, 334. Wirksamkeit der Erdorganismen 339. Wirkungswert d. Stickstoffdünger 312, 355 bis 358. Wisconsin curd test 248. Witterung 342. Wuchsformen, abnorme 23. — teratologische 24. Wundstarrkrampf-Bazillus 40, 205. Wurzelausscheidungen 71, 188. Wurzelknöllchen 162, 363—366. Wurzeln, Atmung 71. — Zersetzung 199. Xylol 371. </p>	<p>Yoghurt 266. Zählung der Mikroorganismen 92, 118, 338. Zelle 26. Zellkern 28. Zellmembran 27. Zellobiose 174. Zell-Teilung 33. Zellulose 52, 369. — -Filter 112. — -Zersetzer 173. — — im Boden 350, 351. — — im Darm 225. — — im Dünger 313, 317. — — im Futter 215. Zellwand 51. Zement-Zersetzung 191. Zentrifugieren der Milch 76, 244, 262. Zerstäubung der Milch 108. Zerstreuungsform 284. Zinksalze 61, 371. Zitronensäure 181. Zonenbildung 38. Zoogloea 27. Zucker-Düngung 369, 370. — -Vergärung 70, 176, 316. Zyanamid 151, 357, 358. Zygosporen 48. Zysten 42, 80. </p>
--	--

Verzeichnis der Abbildungen.

Die Zahlen geben, soweit es sich um Text-Abbildungen handelt, die betreffenden Seiten-Zahlen an. Die Tafeln stehen rechts neben den folgenden Text-Seiten:

I Seite 18	III Seite 38	V Seite 100	VII Seite 154	IX Seite 194
II " 32	IV " 58	VI " 180	VIII " 170	X " 248

Alinit 374. Ammoniak-Bildung Taf. VII, Fig. 1. Ammonsulfat-Lösung Taf. IV und VII. Anaeroben-Kultur 98. Asparagin-Lösung Taf. IV. Aspergillus Taf. II, Fig. 15. Autoklav 99. Azotobakter Taf. I, Fig. 5, Taf. VIII, Fig. 1. — fressende Protozoen 336. Azotogen 375. B. <i>amylobacter</i> Taf. II, Fig. 11. — <i>casei</i> Taf. I, Fig. 7, Taf. II, Fig. 1. — <i>coli</i> Taf. III, Fig. 2 und 6, Taf. V, Fig. 1. — <i>erythrogenes</i> Taf. VI, Fig. 1. — <i>fluorescens</i> Tafel II, Fig. 6, Tafel III, Fig. 3 und 6, Tafel VI, Fig. 1. — <i>lactis</i> 177. — <i>malabarensis</i> Taf. II, Fig. 3 und 4. — <i>prodigiosum</i> Taf. V, Fig. 2. — <i>putrificus</i> Taf. II, Fig. 12. — <i>radicicola</i> Taf. I, Fig. 6, Taf. II, Fig. 2, 7 und 9. — <i>subtilis</i> Taf. I, Fig. 8. — <i>syncyanum</i> Taf. VI, Fig. 1. — <i>vulgare</i> Taf. I, Fig. 9, Taf. II, Fig. 8. BERKEFELD-Filter 113. biologische Reinigungs-Anlagen 307, 308. Boden-Desinfektion 372. Bohnen-Knöllchen 364. Buttersäure-Bakterien 11, Taf. II, Fig. 11. CHAMBERLAND-Filter 113. Cheddar-Käse 285. Clostridien Taf. II, Fig. 11.	 Dampftopf 98. Denitrifikation Taf. VII, Fig. 2. Eisen-Bakterien 198, Taf. IX, Fig. 2. Erd-Desinfektion 372. Erlen-Knöllchen 364. Faulkammer 307. Filter-Körper 114, 308. Formaldehyd-Wirkung 372. Geißelbildung Taf. II, Fig. 5—8. Gelatine-Kulturen 68. Gervais-Käse 285. Hängender Tropfen 102. Harnstoff-Bakterien 11. — -Bouillon Taf. VII, Fig. 1. Hefen 11, 26, Taf. I, Fig. 13 und 14, Taf. II, Fig. 13. Heißluft-Sterilisator 100. Heu-Bazillen 40, Taf. I, Fig. 8. Hohe-Schicht-Kultur 98. Jahres-Kurven 340. Jaourt-Impfstoffe 266. Impfkulturen 221, 266, 270, 304. Käse-Blähung 297. — -Klatschpräparate 285. — -Reifungskulturen 304. Kapsel-Bildung 28. Kartoffel-Fäule 222. Katalase-Probe 247. Kefir-Körner 265. Keimgehalt der Erde 83. Keimgehalt saurer Milch 89. — von Milch, Butter und Käse 21. Kiesfilter 114. KINGS Zeichnungen 9.
--	---

Klär-Anlagen 114, 307.
 Klee-Knöllchen 364.
 Knöllchenbakterien Taf. I, Fig. 6, Taf. II,
 Fig. 2, 7. und 9.
 Kolonie-Bilder Taf. III.
 Kreide-Agar-Gußkultur 249.
 Kreislauf des Kohlenstoffs 172.
 — des Schwefels 192.
 — des Stickstoffs 144.
 — des Stoffs 5.
 Kuhkot, Ausstrich 310.
 Lab-Gärproben Taf. X, Fig. 2.
 Laktobazillen Taf. I, Fig. 7, Taf. II, Fig. 1.
 LEEUWENHOEKS Zeichnungen 8.
 Leguminosen-Impfkulturen 375.
 leuchtender Fisch Taf. VI, Fig. 2.
 Leuconostoc Taf. II, Fig. 10.
 Lupinen-Knöllchen 364.
 Mastitis-Milch-Sediment 245.
 — -Streptokokken Taf. I, Fig. 3.
 Mikrokokken Taf. I, Fig. 1.
 Milch-Gärproben Taf. X, Taf. 1.
 — -Prüfungs-Ergebnisse 247.
 Milchsäure-Bakterien 11.
 — -Streptokokken Taf. I, Fig. 2.
 Milchschimmel Taf. I, Fig. 15.
 Milch, verfärbte Taf. VI, Fig. 1.
 Milzbrand-Bakterien 28.
 Mucor Taf. II, Fig. 14.
 Nitragin 375.
 Nitrat-Assimilation Taf. VII, Fig. 2.
 — Lösung Taf. IV und Taf. VII.
 Nitrifikation Taf. VII, Fig. 2.
 Nitrit-Bakterien Taf. II, Fig. 5.
 Nitrobacterine 375.
 Nitroculture 375.
 Oberflächen-Relationen 20.
 Oidium lactis Taf. I, Fig. 15.
 Papier-Zersetzung 351.
 Penicillium Taf. II, Fig. 16, Taf. III, Fig. 5
 und 6.
 Pepton-Lösung Taf. IV und Taf. VII.
 PETRI-Schale Taf. III, Fig. 1.
 Phagozyten 207.
 Plektridien Taf. II, Fig. 12.
 Proteus Taf. I, Fig. 9, Taf. II, Fig. 8.
 Protozoen 336, Taf. I, Fig. 16.
 Rahm-Reifungskulturen 270.
 Reben-Müdigkeit 372.
 Reduktions-Probe 247.
 Reinigungs-Anlagen 307, 308.
 Riesen-Kolonien Taf. III, Fig. 6.
 Rinder-Exkreme 310.
 Rosa-Hefe Taf. III, Fig. 4 und 6.
 Säure-Bakterien und Säure-Bildung in
 Sauer-Mais 220.
 Salpeter-Lösung Taf. IV und VII.
 Sandfilter 114.
 Sarcina Taf. I, Fig. 4.
 Sauerfutter-Impfkultur 221.
 Schimmelpilze 26, Taf. I, Fig. 15, Taf. II,
 Fig. 14—16, Taf. III, Fig. 2.
 Schleudergläschen nach TROMMSDORFF 245.
 Schleuderprobe 247.
 Schwefel-Bakterien 195, Taf. IX, Fig. 1.
 — -Kreislauf 192.
 Serradella, Impfversuch 376.
 Spirillen Taf. I, Fig. 11.
 Spirochaeten Taf. I, Fig. 12.
 Sporen-Bildung 40, Taf. II, Fig. 11—16.
 — -Keimung 41.
 Stichkulturen 68.
 Stickstoff-Kreislauf 144.
 — -Umsetzungen 340.
 Stoff-Kreislauf 5.
 Streptococcus lactis Taf. I, Fig. 2.
 Streptokokken Taf. I, Fig. 2 und 3.
 Trockenschrank 100.
 Tropfkörper 308.
 Tusche-Ausstrichpräparate Taf. I, Fig. 9—12.
 — -Punkt-Kultur 97.
 Umsetzungs-Kurven 340.
 Vermehrung von Milchbakterien 239.
 Verzweigungen 26, Taf. II, Fig. 1 und 2.
 Vibrionen Taf. I, Fig. 10.
 Vindobona-Kulturen 221, 266, 270.
 Wachstum in versch. Lösungen Taf. IV
 und VII.
 Wasserwerk 114.
 Wurzelknöllchen 364, 365.
 Zellulose-Agar 317.
 Zellulose-Zersetzung 174, 351, Taf. VIII,
 Fig. 2.
 Zentrifuge z. Milchprüfung 245.
 Zucker-Wirkung 369.

Verlag von Gebrüder Bornträger in Berlin
W 35 Schöneberger Ufer 12a

Zeitschrift für Gärungsphysiologie, allgemeine, landwirtschaftliche und technische Mykologie unter Mitwirkung zahlreicher Forscher herausgegeben von Professor Dr. Alexander Kossowicz, Wien.

Die Zeitschrift erscheint in zwanglosen Heften von etwa 4—6 Bogen. Ca. 24 Bogen bilden einen Band. Band I und II liegen abgeschlossen vor; Band III befindet sich im Erscheinen. Der Ladenpreis eines Bandes beträgt 20 Mk. Probehefte gratis und franko.

Einführung in die Mykologie der Nahrungsmittelgewerbe von Professor Dr. Alexander Kossowicz, Privatdozent an der Technischen Hochschule in Wien. Mit 21 Abbildungen im Text und 5 Tafeln.
Geheftet 4 Mk., gebunden 5 Mk.

Einführung in die Mykologie der Genußmittel und in die Gärungsphysiologie von Professor Dr. Alexander Kossowicz. Mit 2 Tafeln u. 50 Textabbildungen.
Geheftet 6 Mk., gebunden 7 Mk.

Einführung in die Agrikulturmykologie von Professor Dr. Alexander Kossowicz. I. Teil: Bodenbakteriologie. Mit 47 Textabbildungen.
Geheftet 4 Mk., gebunden 5 Mk.

Einführung in die Mykologie der Gebrauchs- und Abwässer von Professor Dr. Alexander Kossowicz. Mit zahlreichen Abbildungen.
Unter der Presse

Einführung in die Agrikulturmykologie von Professor Dr. Alexander Kossowicz.

II. Teil: Die Pilzkrankheiten der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen. Inhalt: Morphologie, Systematik und Physiologie der phytopathogenen Pilze; durch Pilze verursachte Krankheiten der Gemüsepflanzen, der Getreidepflanzen, der Obstbäume usw. und deren Bekämpfung. Mit zahlreichen Abbildungen.
In Vorbereitung

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei

